Diagnostic de vulnérabilité

Démarche d'adaptation au changement climatique de la **Réserve naturelle Petite Camargue Alsacienne**

LIFE NATUR' ADAPT

Réserve Naturelle PETITE CAMARGUE ALSACIENNE

Petite Camargue Alsacienne

Auteurs

SCHLOESSER Daphné et MERCKLING Léa

Remerciements

Je voudrais remercier toute l'équipe de l'association de la Petite Camargue Alsacienne, la conservatrice Mme MERCKLING Léa et le directeur M KNIBIELY Philippe. Mes remerciements aux membres du Conseil scientifique de la réserve naturelle, ainsi qu'aux membres du Conseil d'administration et du Comité consultatif de gestion.

Je voudrais également remercier toutes les personnes qui ont été sollicitées au cours du projet : CRIQUI Tiphaine et PREFOL Marion, chargées de projet sur le Plan Climat-Air-Energie de Saint-Louis Agglomération ; FELDTRAUER Jean-Jacques, LENZIN Heiner et SCAAR Bertrand, bénévoles en charge de suivis scientifiques sur la réserve naturelle ; FIZESAN Alain et VACHER Jean-Pierre de l'association BUFO ; SCHMITT Laurent, hydromorphologue au Laboratoire Ville Environnement Image de Strasbourg ; TALLET Victorien, agent de développement/animateur à la Fédération de pêche 68 ; BROBECK-ALLARD Nathalie, Chef du Service Agronomie Environnement de la Chambre d'agriculture Alsace ; JOUET Charlotte, REEB Anne, PONS Emilie, VALERY Audray, BARILLIER Agnès et JACOB Frédérick d'Electricité de France ; BOUQUIER Éric et SALESSES Martin des Voies Navigables de France ; LOVASZ Lilla, doctorante à l'Université de Bâle.

Enfin, mes remerciements à l'équipe de Réserves Naturelles de France qui était présente tout au long du projet.

Citation de l'ouvrage

SCHLOESSER Daphné et MERCKLING Léa, 2020 - Projet LIFE Natur'Adapt : Analyse des vulnérabilités et analyse prospective de la Réserve Naturelle Nationale de la Petite Camargue Alsacienne face au changement climatique, 46 p.

Table des matières

RESUME 4
INTRODUCTION 5
LA RESERVE NATURELLE NATIONALE DE LA PETITE CAMARGUE ALSACIENNE 6
Présentation de la RNN et de ses enjeux 6
La RNN et le changement climatique 9
LA DEMARCHE NATUR'ADAPT 10
Les grandes étapes 10
La méthode du diagnostic de vulnérabilités et d'opportunités 10
LE CLIMAT 12
Normales climatiques (1981-2010) 12
Les évolutions récentes du climat 14
Hydrographie et impacts du climat 15
Le Rhin 15
L'Augraben 17
La nappe phréatique 18
Le climat futur 18
Phénomènes climatiques 19
Hydrographie 23
Synthèse détaillée des données climatiques futures 25
LES PRESSIONS NON CLIMATIQUES 26
RESULTATS DU DIAGNOSTIC DE VULNERABILITE ET D'OPPORTUNITE 28
LE RECIT PROSPECTIF DE LA RESERVE 32
LES NOUVEAUX ARRIVANTS 34
CONCLUSION 39
LISTE DES ACRONYMES 40
GLOSSAIRE 41
BIBLIOGRAPHIE 43

RESUME

La RNN de la Petite Camargue Alsacienne, située à l'extrémité sud de la plaine d'Alsace, a été créée en 1982 pour préserver les reliques des milieux alluviaux rhénans. Sur une surface de 904 hectares, ce sont une alternance de milieux aquatiques, de milieux ouverts humides ou secs et de milieux forestiers qui abritent une faune et une flore riches et variées, dont de nombreuses espèces à intérêt patrimonial.

Les tendances climatiques futures, outre l'augmentation globale de la température, montrent deux tendances inverses sur l'année. Les hivers seront plus humides avec une augmentation du cumul des précipitations, alors que durant la période estivale le cumul des précipitations sera à la baisse et les sécheresses de plus en plus régulières et marquées. La fréquence des évènements extrêmes comme les canicules, les vents forts et les pluies torrentielles ira à la hausse. La modification des conditions d'enneigement dans les Alpes aura aussi des répercussions sur le Rhin : les débits hivernaux seront à la hausse, liée aux précipitations sous forme de pluie au lieu de neige, et les débits estivaux à la baisse avec des étiages de plus en plus longs et marqués.
Parallèlement à l'évolution des tendances climatiques, les évolutions probables des pressions non climatiques ont également été prises en compte, à savoir toutes les activités socio-économiques qui ont une influence directe ou indirecte sur la réserve, mais aussi d'autres pressions naturelles comme les espèces exotiques envahissantes.

Pour analyser les impacts du changement climatique sur la réserve à l'aide du diagnostic de vulnérabilités et d'opportunités, ce sont 33 objets qui ont été sélectionnés : 9 habitats, 6 espèces patrimoniales, 6 espèces régulées, 11 outils et moyens de gestion et 1 activité socio-économique. Les informations utilisées pour l'analyse proviennent principalement de la littérature scientifique et des dires d'experts pour le patrimoine naturel, ainsi que des dires de l'équipe salariée pour les outils et moyens de gestion. Les résultats du diagnostic ont ensuite été présentés au conseil scientifique de la réserve pour validation.

Au vu des grandes tendances climatiques décrites précédemment, le caractère humide de la réserve pourrait être partiellement menacé. Les milieux aquatiques phréatiques et pluviaux risquent de s'assécher totalement durant la période estivale et les milieux humides annexes pourraient évoluer vers des habitats plus secs, perdant leurs espèces végétales typiques. Les zones aquatiques permanentes pourraient perdre en qualité par une eutrophisation de l'eau. Les espèces animales dépendantes de ces milieux subiront une mortalité plus importante à cause des sécheresses et les espèces sensibles risquent de disparaitre. En revanche, de nouvelles opportunités se créeront pour les prairies sèches, riches en espèces patrimoniales. Les évolutions des milieux attendues amèneront aussi à réajuster les outils et moyens de gestion. Par exemple, il faudra probablement revoir l'entretien des milieux ouverts par pâturage pour répondre aux modifications de la végétation, via un ajustement de la taille des troupeaux, de la taille des enclos et de la durée de pâturage.

En complément, des recherches sur les nouvelles espèces qui arrivent ou qui pourront arriver dans le futur ont été faites. Cette thématique ayant été intégrée plus tardivement à la méthodologie en phase d'expérimentation, les informations liées aux nouveaux arrivants n'ont pas été utilisées dans le diagnostic de vulnérabilités mais sont tout de même présentées à titre informatif.

Les impacts issus du diagnostic ont servi de base de travail pour l'écriture du récit prospectif de la réserve et du plan d'adaptation. Par la suite, ces éléments pourront être réutilisés dans des documents de communication à destination du grand public et des acteurs locaux. Les limites du diagnostic reposent principalement sur le manque de connaissances par rapport aux impacts du changement climatique mais aussi, pour certains objets du patrimoine naturel, sur un manque de connaissances de base par rapport aux préférences écologiques. L'intensité des vulnérabilités ou des opportunités attribuées pourrait également être amenées à varier selon les connaissances disponibles et selon le ressenti de la personne qui attribue cette note. Idéalement, il faudrait pouvoir analyser chaque objet avec un expert le concernant et se concentrer sur les impacts attendus plutôt que sur la note elle-même qui reste toute relative.

INTRODUCTION

Le projet LIFE Natur'Adapt, coordonné par Réserves Naturelles de France, a pour objectif d'intégrer les enjeux du changement climatique dans la gestion des espaces naturels protégés européens. Il est organisé sur une durée de 5 ans (2018-2023) et s'appuie sur un processus d'apprentissage collectif dynamique avec l'implication de neuf autres partenaires. Le projet se structure autour de trois grands axes :

- L'élaboration d'outils et de méthodes opérationnels à destination des gestionnaires pour élaborer un diagnostic de vulnérabilités et d'opportunités (DVO) au changement climatique et un plan d'adaptation ;
- Le développement et l'animation d'une communauté d'experts et de praticiens de l'adaptation dans les espaces naturels ;
- L'activation de tous les leviers nécessaires pour la mise en œuvre concrète de l'adaptation.

Les différents outils seront expérimentés sur six réserves naturelles partenaires du projet, puis revus et testés sur 15 autres sites avant d'être déployés aux échelles nationale et européenne.
L'objectif à 10 ans est que 80% des gestionnaires de réserves naturelles aient adopté des modalités de gestion, de planification et de gouvernance adaptatives dans un contexte de changement climatique et que les autres principaux espaces naturels protégés s'engagent dans cette voie.

La Réserve Naturelle Nationale (RNN) de la Petite Camargue Alsacienne a intégré le projet au titre de site expérimental. S'étalant sur 1 an et demi, cette phase a permis de tester un premier prototype des outils et des méthodes, ainsi que de coconstruire la démarche. Les six sites expérimentaux sont variés, aussi bien dans leurs habitats naturels que dans leurs usages, leurs moyens de gestions et le type d'organisme gestionnaire. La Petite Camargue Alsacienne représente les milieux humides continentaux et est gérée par l'association du même nom.

Dans ce rapport sont présentés les détails de la démarche Natur'Adapt appliquée sur le site, les principaux résultats obtenus grace au le DVO et le devenir probable de la réserve à travers un récit prospectif. Un second document faisant suite à celui-ci présente les pistes d'adaptation possibles pour répondre aux diverses problématiques présentées ici.

LA RESERVE NATURELLE NATIONALE DE LA PETITE CAMARGUE ALSACIENNE

Présentation de la RNN et de ses enjeux

La protection des milieux naturels sur le site de la Petite Camargue Alsacienne a débuté dès 1969 pour préserver les reliquats des milieux rhénans modelés par l'ancienne dynamique fluviale du Rhin. La Réserve Naturelle Nationale a été créée par arrêté ministériel en 1982 sur une surface de 120 hectares. Elle s'est progressivement agrandie par l'acquisition ou la prise en charge de la gestion de terrains, pour une surface actuelle de 904 hectares. Elle est divisée en deux zones principales : le secteur historique de la plaine de l'Au (461,8 ha) et l'Ile du Rhin (442,2 ha) acquise plus récemment et sur laquelle a été réalisé un grand chantier de renaturation achevé en 2015.

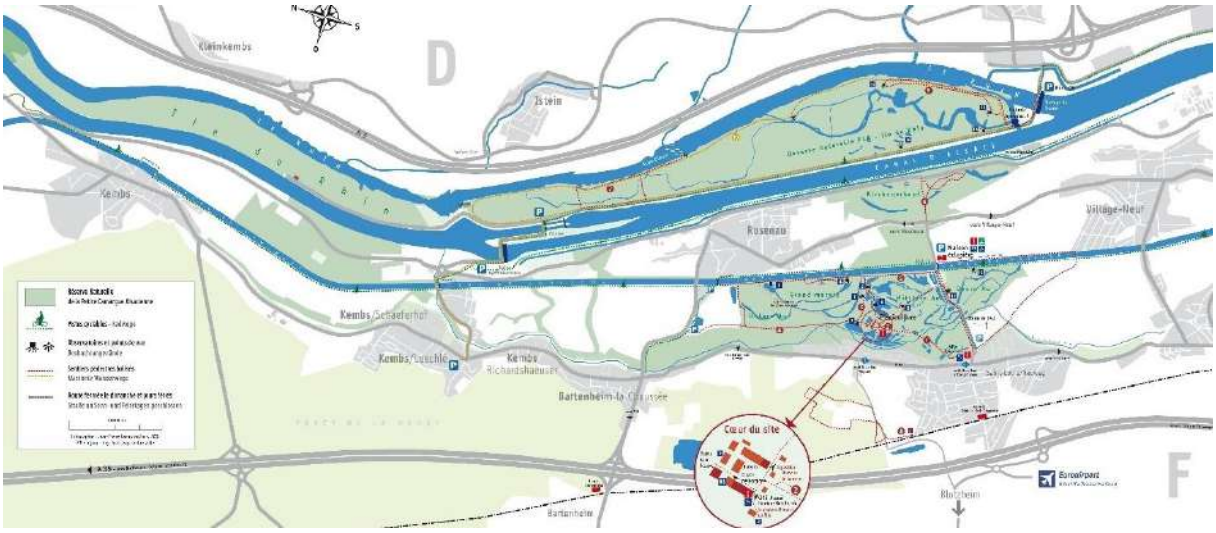


Figure 1 : Carte de la RNN de la Petite Camargue Alsacienne (en vert foncé)

La Petite Camargue Alsacienne englobe une grande diversité de milieux avec 21 classes principales d'associations végétales. On retrouve des habitats typiques des milieux rhénans tels que les pelouses sèches, les prairies humides, les roselières, les forêts alluviales, les milieux aquatiques d'eau stagnante ou courante et des résurgences phréatiques.

Ces milieux possèdent une grande richesse floristique : 667 taxons de plantes vasculaires ont été inventoriés dont des espèces typiques des milieux rhénans comme les lianes. 27 espèces présentent un intérêt patrimonial et/ou un statut de protection. On y retrouve des espèces rares dans la région comme l'Œillet superbe (*Dianthus superbus*), l'Anémone pulsatille (*Pulsatilla vulgaris*), l'Iris de Sibérie (*Iris sibirica*) et de nombreuses espèces d'orchidées.

La faune y est également très diversifiée. Les invertébrés aquatiques et terrestres sont présents en grand nombre, la richesse spécifique est importante notamment au niveau des odonates, orthoptères, coléoptères et rhopalocères. La réserve abrite aussi une vingtaine d'espèces de poissons, dont le Saumon Atlantique (*Salmo salar*), 16 espèces de batraciens sur les 18 connues en Alsace, 6 espèces de reptiles et 35

espèces de mammifères. Le site est particulièrement réputé par sa richesse en oiseaux, 258 espèces ont été inventoriées et plus d'une centaine sont nicheuses. Le Rhin est le 2ème lieu d'hivernage des oiseaux en France après la Camargue.

Le site de la Petite Camargue Alsacienne se trouve dans un contexte historique particulier. Les milieux naturels en bordure du Rhin ont subi des changements très importants en 200 ans. Initialement, cette zone du Rhin formait ce qu'on appelle des tresses, créant des entrelacs d'îlots, de cours d'eau et de bras morts (**Figure 2**). Le paysage était constamment remodelé en fonction du courant et des crues, offrant une mosaïque d'habitats naturels : des milieux pionniers tels que des bancs de gravier et des pelouses, des forêts alluviales à bois tendre régulièrement inondées et des forêts alluviales à bois dur dans les zones plus rarement inondées.

Figure 3 : Le Rhin sauvage (Peter Birmann, début XIXe)

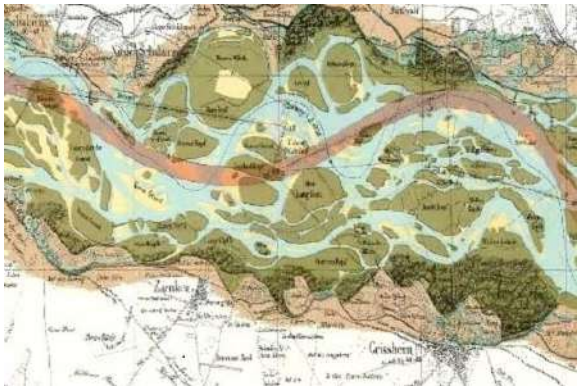


Figure 2 : Carte du Rhin sauvage et rectification par Tulla

Des travaux de canalisation du Rhin ont été réalisés au cours du 19ème siècle. Le canal de Huningue a été construit en 1830, puis le cours du Rhin a été régularisé vers 1850 par les digues dites de Tulla pour rendre la navigation jusqu'à Bâle plus aisée, créant le cours actuel du Vieux Rhin (**Figure 3**). Cette opération a eu pour effet d'accélérer le courant qui a surcreusé le lit jusqu'à atteindre des barres rocheuses, rendant à nouveau impossible la navigation. A partir de 1928 le Grand Canal d'Alsace est creusé en parallèle du Vieux Rhin pour résoudre ce problème, il sert également à la production d'énergie hydroéléctriques grace aux centrales implantées sur son cours. L'Ile du Rhin marque la séparation entre le cours historique du Vieux Rhin et le Grand Canal. Dès lors, les milieux rhénans se retrouvent coupés de la dynamique du fleuve et le Vieux Rhin n'est alimenté qu'en période de crue. En 2010, des débits réservés fixes avec des variations au cours de l'année selon un régime nivo-glaciaire ont été accordés au Vieux Rhin pour tenter de recréer une dynamique plus naturelle et rétablir les écosystèmes rhénans.

De par cette canalisation et la rupture de la dynamique naturelle, la Petite Camargue Alsacienne possède une gestion particulière au regard d'autres réserves naturelles. Le seul moyen de préserver la mosaïque des milieux rhénans sur le cœur historique de la réserve est une forte intervention de l'homme pour recréer des effets similaires à ceux d'une dynamique fluviale. Tous les milieux ouverts sont entretenus, par pâturage ou par interventions mécaniques, pour bloquer les successions écologiques et éviter l'emboisement. De plus, de nombreuses actions de restauration des milieux ont été réalisées suite à l'acquisition progressive de terrains qui étaient souvent à vocation agricole. L'alimentation en eau est aujourd'hui partiellement contrôlée par trois prises d'eau sur le canal de Huningue pour alimenter le cœur historique de la réserve. Sur l'Ile du Rhin, le cours du Petit Rhin a été recréé lors du chantier de renaturation de 2015 avec une prise d'eau sur le Grand Canal d'Alsace. Il doit alimenter une partie du secteur forestier de la réserve pour rajeunir les boisements qui ont évolué vers des bois durs suite à la canalisation. L'ancien secteur agricole de l'Ile du

Rhin a été converti en prairies, pelouses et milieux humides annexes du Petit Rhin entretenus par pâturage et interventions mécaniques en complément.

La réserve se situe dans un cadre socio-économique très actif car elle est en périphérie de l'Eurodistric Trinational de Bâle constitué par la France, l'Allemagne et la Suisse. L'Eurodistric Trinational compte plus de 924 000 d'habitants et la densité de population au niveau de notre bassin national est de 223 hab./km² contre une moyenne de 105,8 hab./km² en France. Les pressions anthropiques sont fortes, la croissance démographique est la plus élevée d'Alsace et les zones urbaines sont en constante extension. La présence de l'aéroport international de Bâle-Mulhouse-Fribourg à 2 kilomètres du cœur de la réserve et la mobilité pendulaire des travailleurs transfrontaliers créent un trafic routier dense en périphérie du site, notamment avec une autoroute côté français et une autoroute côté allemand en bordure du Vieux Rhin. L'agriculture est également un secteur très présent dans la région et occupe la majorité des terrains non urbanisés. Certaines parcelles agricoles sont même encore inclues dans le périmètre protégé de la réserve naturelle.

La présence proche des agglomérations crée une forte fréquentation du site de presque 100 000 visiteurs par an. Les publics et les activités réalisées sont variés : sortie naturaliste, photographie, sortie familiale, petite promenade du quotidien, activités sportives telles que le footing et la marche nordique, etc. Les visiteurs sont au maximum encadrés par la réserve via le décret de réglementation et par la présence d'un Centre d'Initiation à la Nature et à l'Environnement (CINE). La réserve est dotée d'une série d'observatoires pour faciliter l'observation de la faune sauvage par le public.

Le Centre d'Initiation à la Nature

Le CINE est constitué par une équipe d'animateurs spécialisés dans l'éducation à la nature et à l'environnement. Ceux-ci s'occupent de l'accueil du public sur la réserve au travers des boutiques, des expositions, des visites guidées et des ateliers organisés. A côté des actions « grand public », ils organisent également des animations et des cycles pour les scolaires, ainsi que des vacances Nature pour les enfants.

Le site historique de la réserve avait été choisi au cours du 19ème siècle pour la construction de la première pisciculture industrielle d'Europe. Achevée en 1860, elle visait à repeupler les cours d'eau pour avoir du poisson en abondance, d'abord avec des espèces salmonicoles puis diverses autres espèces dont certaines exogènes. Suite à la création de la réserve naturelle et au décès du précédent propriétaire, la pisciculture est confiée en 1989 à l'association l'eAu Vive dont l'activité a ensuite été fusionnée aux autres activités d'accueil du public et de gestion de la réserve au sein de l'association Petite Camargue Alsacienne. Les bâtiments historiques ont été rénovés et la pisciculture dédiée à l'élevage de Saumon Atlantique (*Salmo salar*) pour le repeuplement du Rhin et de ses affluents. Les bâtiments accueillent également les bureaux de l'association et du CINE, la station de recherche et des lieux d'accueil du public.

Figure 4 : Le complexe des bâtiments historiques vu du ciel

La RNN et le changement climatique

De par une gestion très interventionniste, les effets du changement climatique sont probablement tamponnés et il n'y a actuellement pas de conséquences majeures observables. De plus, le fait que la réserve s'agrandisse progressivement depuis sa création et que les milieux soient modifiés par restauration ou abandon d'une activité anthropique ne permet pas de différencier les impacts du climat de ceux de l'évolution des milieux dans les apparitions/disparitions d'espèces.

Les effets du changement climatique sont en revanche de plus en plus présents dans la région. On relève une hausse de la température moyenne, des vagues de chaleur et des canicules de plus en plus fréquentes ainsi que des sécheresses à répétition. Ce sont notamment ces sécheresses qui impactent durement le territoire, par exemple dans la forêt de la Hardt, et qui commencent à se faire ressentir progressivement au niveau de la réserve ces quelques dernières années avec un brunissement précoce de certains arbres, un dessèchement des prairies et une baisse du toit de la nappe phréatique. Des modifications des débits du Rhin à hauteur de Bâle sont déjà observables ; pour l'instant elles épargnent la réserve, les débits réservés étant contrôlés par l'Homme.

La Petite Camargue Alsacienne a choisi d'intégrer le projet LIFE Natur'Adapt dans le but d'anticiper les effets du changement climatique sur la mosaïque des milieux rhénans, mais aussi sur la manière dont sont gérés ces milieux.

La forêt de la Hardt

Situé au nord de la Petite Camargue Alsacienne, le massif forestier de la Hardt s'étend sur 19 000 Ha sur un sol alluvionnaire composé de graviers pauvres et filtrants. Les boisements, majoritairement constitués de chênes, pins, charmes, tilleuls et érables champêtres, sont de nature plus sèche que ceux observés en Petite Camargue Alsacienne. Ces dernières années, les sécheresses estivales à répétition impactent fortement les boisements, causant un brunissement précoce de nombreux arbres et un dépérissement de certaines espèces, notamment des résineux, qui subissent en plus les attaques des insectes phytophages.

Figure 5 : Dépérissement observé dans la forêt de la Hardt (Thierry Gachon / L'Alsace)

LA DEMARCHE NATUR'ADAPT

Les grandes étapes

Pour la phase expérimentale du projet, il avait été choisi de découper la démarche en quatre grandes étapes :

1. L'analyse des enjeux et des objectifs de la réserve pour dégager une liste d'objets d'intérêt qui seront analysés dans la suite de la démarche. En tout, 33 objets ont été retenus : 9 habitats naturels (les unités phytosociologiques listées dans le plan de gestion ont été regroupées selon les grandes classes d'habitats de la nomenclature Corine), 12 espèces (6 espèces patrimoniales et 6 espèces régulées), 11 outils et moyens de gestion et 1 activité socio-économique que la réserve peut partiellement gérer. Ces objets sont listés dans la partie résultats du diagnostic de vulnérabilité.
2. L'analyse du climat passé et présent de la réserve pour établir les normales climatiques et les évolutions récentes du climat, puis dans un second temps l'analyse du climat futur avec la récupération de données via les services climatiques et l'établissement des grandes tendances climatiques jusqu'à la fin du siècle. Les résultats ont été compilés sous forme d'un récit climatique disponible dans ce document.
3. Le passage de chaque objet dans le diagnostic de vulnérabilités et d'opportunités (la méthode est décrite dans la partie suivante) et l'écriture d'un récit prospectif pour décrire l'évolution probable de l'espace naturel et de ses activités dans le futur.
4. La création d'un plan d'adaptation sur la base des résultats obtenus dans les points précédents.

Cette méthodologie en quatre étapes sera partiellement remaniée dans le 2ème prototype de la boîte à outils, notamment pour abolir le cadre strict entre les étapes et aboutir à une vision de la démarche comme une base de réflexion et de connaissance qui sera ensuite alimentée tout au long de la vie de l'espace naturel.

La méthode du diagnostic de vulnérabilités et d'opportunités

Le DVO permet d'attribuer une appréciation de la vulnérabilité ou de l'opportunité des objets dans le contexte du changement climatique. Dans la limite des connaissances disponibles, les effets indirects du climat sont aussi analysés car il peut y avoir des répercussions sur d'autres facteurs ou phénomènes qui ont eux aussi une influence sur l'objet considéré. Les questionnements pour aboutir à l'appréciation finale de l'objet sont les suivants :

- Quels sont les principaux paramètres climatiques qui affectent mon objet, en positif ou en négatif, et à quel point ? = **sensibilité intrinsèque de l'objet ;**
- Comment vont évoluer ces paramètres climatiques dans le futur ? = **exposition de l'objet au changement climatique ;**

- Est-ce que l'objet est capable de s'adapter aux variations climatiques et à leurs effets ? = **capacité d'adaptation intrinsèque ;**
- Quels sont les activités anthropiques et autres facteurs non climatiques pouvant limiter la capacité d'adaptation de l'objet et quelles sont leurs évolutions futures ? = **exposition aux pressions non climatiques**.

La capacité d'adaptation intrinsèque et l'exposition aux pressions non climatiques sont croisées pour obtenir la **capacité d'adaptation globale** de l'objet. Les appréciations de la sensibilité intrinsèque, de l'exposition et de la capacité d'adaptation sont ensuite rentrées dans la matrice ci-dessous (**Tableau 1**) pour obtenir l'appréciation finale de la vulnérabilité/opportunité. La matrice utilisée ici est un prototype, elle sera probablement amenée à évoluer dans la 2ème version de la méthodologie.

Tableau 1 : Prototype I de la matrice d'évaluation de la vulnérabilité ou de l'opportunité

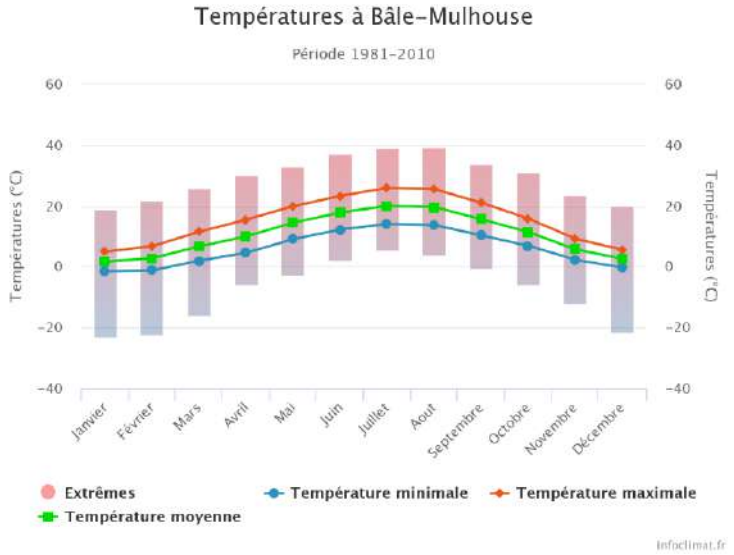
		Capacité d'adaptation globale			
Sensibilité intrinsèque	Exposition au CC	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Forte	Défavorable	Vulnérabilité très forte	Vulnérabilité très forte	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne
Moyenne		Vulnérabilité très forte	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité faible
Faible		Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité faible	Vulnérabilité faible
Forte	Neutre	Indifférent	Indifférent	Indifférent	Indifférent
Moyenne					
Faible					
Faible	Favorable	Opportunité faible	Opportunité faible	Moyennement opportuniste	Opportunité forte
Moyenne		Opportunité faible	Opportunité moyenne	Opportunité forte	Opportunité très forte
Forte		Opportunité moyenne	Opportunité forte	Opportunité très forte	Opportunité très forte

LE CLIMAT

Dans cette partie sont présentés les résultats et les informations collectés sur le climat local lors de la 2ème étape de la méthodologie.

Normales climatiques (1981-2010)

Le climat alsacien est océanique à tendance continentale, voire semi-continentale, avec des phénomènes d'abri liés aux Vosges à l'ouest et à la Forêt Noire à l'est. L'Alsace est marquée par trois types de sous-climats différents : montagneux sur le pourtour des Vosges, doux dans l'Alsace bossue et la trouée de Belfort et sec dans la plaine. Le site de la Petite Camargue Alsacienne se situe en périphérie sud du microclimat sec de Colmar.
La réserve ne dispose pas de sa propre station météorologique. La station utilisée est celle de l'aéroport de Bâle-Mulhouse. Elle est située à moins de 2 km du cœur du site et à 263 mètres d'altitude sur la basse terrasse de la plaine alluviale. Le cœur de la réserve est en contrebas de la basse terrasse, son point le plus haut étant à 244 mètres d'altitude. Les archives de la station débutent en 1973. Les données et graphiques utilisés pour présenter les normales climatiques (**période 1981-2010**) sont issus du site InfoClimat.fr (InfoClimat 2020) qui récupère les données de MétéoFrance.

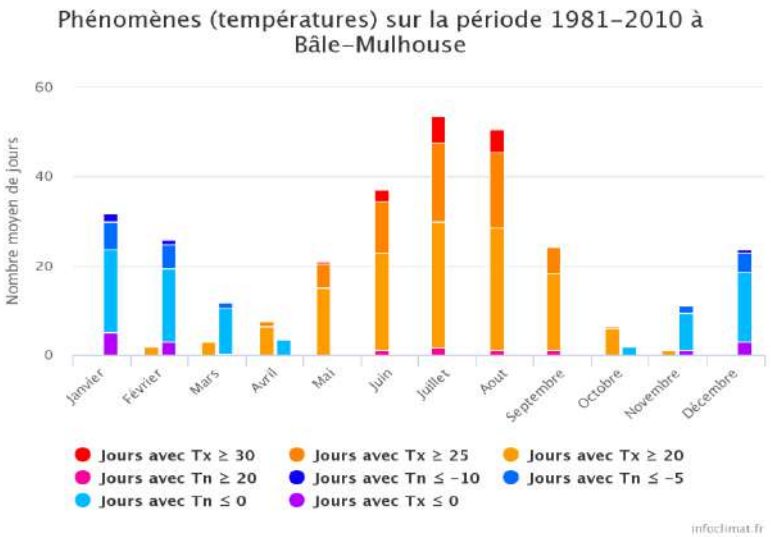


Graphique 1 : **Températures minimales, maximales moyennes et extrêmes à la station météorologique de Bâle-Mulhouse sur la période 1981-2010 (Infoclimat.fr)**

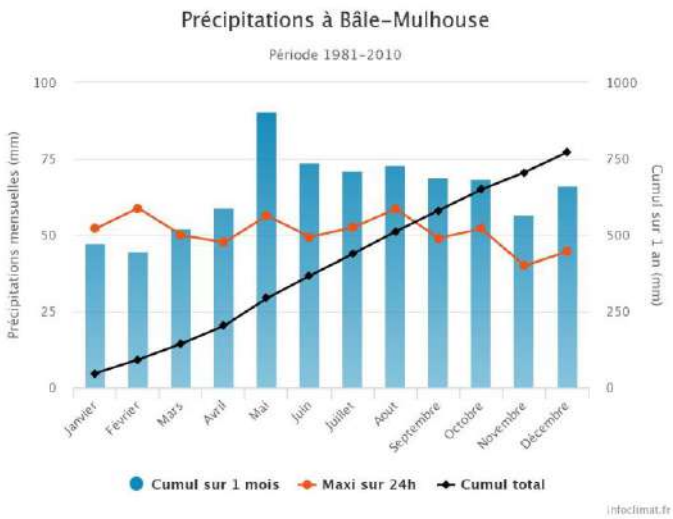
Sur la période 1981-2010, la température moyenne annuelle était de **10,7°C**. La température maximale moyenne est de **15,4°C** et la température minimale moyenne de **6,0°C**, avec des variations au cours de l'année (**Graphique 1**). La température maximale enregistrée est de **39,1°C** le 13 août 2003 et la température minimale de **-23,5°C** le 6 janvier 1985.

Concernant l'occurrence des phénomènes de température, la température maximale dépasse les 20°C **128,1 jours/an** entre février et novembre, les 25°C (phénomène de jours d'été) **59 jours/an** entre avril et octobre et les 30°C **14,9 jours/an** (phénomène de fortes chaleurs) entre mai et août. Le phénomène de nuits tropicales (température minimum > 20°C) a lieu **4,7 jours/an** entre juin et septembre (**Graphique 2**).

Les jours de gel (Tmin < 0°C) ont lieu **74,5 jours/an** entre octobre et avril. La température est inférieure à -5°C **19,4 jours/an** entre novembre et mars et à -10°C **4,1 jours/an** entre décembre et février. Les jours sans dégel (Tmax < 0°C) ont lieu **12,2 jours/an** entre novembre et février (**Graphique 2**).

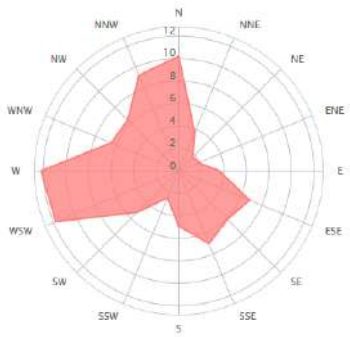


Graphique 2 : Répartition moyenne en nombre de jours des phénomènes de température à la station météorologique de Bâle-Mulhouse sur la période 1981-2010 (Tx = température maximale, Tn = température minimale) (Infoclimat.fr)



Graphique 3 : Cumuls mensuels, cumuls maximums sur 24h et cumul total des précipitations à la station météorologique de Bâle-Mulhouse sur la période 1981-2010 (InfoClimat.fr)

Le cumul annuel des précipitations est en moyenne de **772,8 mm**. Le nombre de jours de pluie (hauteur d'eau > 1 mm) est relativement stable sur l'année, en moyenne **8 à 12 jours/mois**. Le printemps et l'été présentent les cumuls mensuels les plus importants, notamment le mois de mai avec 90 mm. Cela s'explique par les phénomènes orageux : **33,3 jours/an d'orage**, dont 26,3 jours entre mai et août. L'hiver est la saison la plus sèche, les cumuls sont inférieurs à 50 mm pour janvier et février (**Graphique 3**). Les précipitations sous forme de neige ont lieu **29,9 jours/an** entre octobre et avril.



Graphique 4 : Distribution de la direction des vents en % à la station météorologique de Bâle-Mulhouse (Windfinder)

Les vents viennent principalement de l'ouest et du nord, plus occasionnellement du sud-est (**Graphique 4**) (Windfinder n.d.). Les rafales maximales montent jusqu'à 130 km/h mais sont peu fréquentes. Les vents ne dépassent les 100 km/h qu'une journée dans l'année en moyenne. De manière générale, le site est peu venteux avec des vents à plus de 57 km/h de **3 à 5 jours/mois** entre décembre et mars et de **1 à 3 jours/mois** entre avril et octobre.

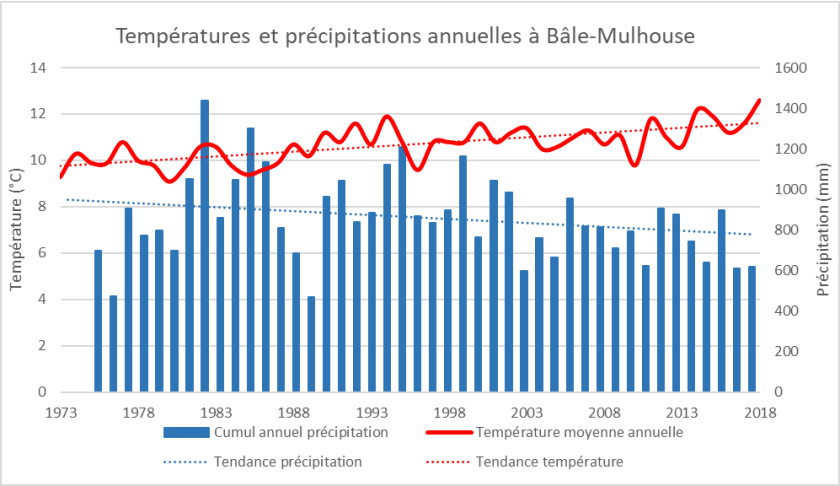
De par les massifs montagneux et les vents assez réduits, le site compte en moyenne **45,1 jours/an** de brouillard, principalement entre septembre et février.

Actuellement, les évènements extrêmes climatiques touchant le plus régulièrement le secteur de la Petite Camargue sont les canicules et les sécheresses durant la période estivale, ainsi que les pluies torrentielles pouvant causer des crues, des inondations et des coulées de boue. On peut aussi noter les gelées précoces et tardives, ainsi qu'en moyenne un à deux évènements de tempête durant l'hiver.
En lien avec l'alternance des sécheresses et des périodes humides, des retraits-gonflements d'argile peuvent aussi être observés dans le secteur.

Les évolutions récentes du climat

Les évolutions récentes se font sur la base de l'historique des données de la station météorologique de Bâle-Mulhouse entre 1973 et 2018. Elles sont calculées à partir de la tendance d'évolution des paramètres climatiques.

Les années sont contrastées mais les tendances montrent une augmentation de la température moyenne annuelle de +2,2°C et une baisse du cumul annuel des précipitations de -170 mm entre 1973 et 2018 (**Graphique 6**). L'évolution des précipitations à Bâle-Mulhouse diffère de celle observée au niveau du département, à savoir une augmentation du cumul annuel depuis 1959.



Graphique 5 : Evolution de la température moyenne annuelle et du cumul annuel des précipitations à la station météorologique de Bâle-Mulhouse sur la période 1973-2018

Les tendances montrent une augmentation des jours de chaleur entre 1973 et 2018 : +27 jours d'été et +15 jours de fortes chaleurs. Le phénomène de nuit tropicale est également en progression avec +2 jours. La tendance est inverse pour les jours de froid : -16,3 jours de gelées et -6,7 jours de fortes gelées. Idem pour les jours sans dégel en réduction de -7,4 jours (**Tableau 2**).

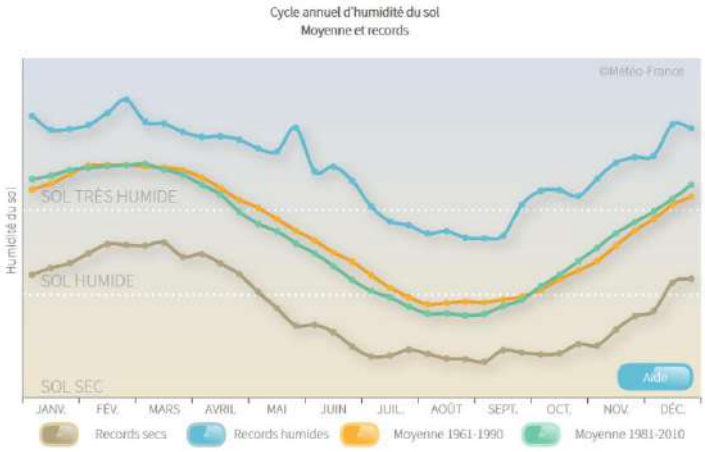
Tableau 2 : Evolution du nombre de jours des phénomènes de température à la station météorologique de Bâle-Mulhouse entre 1973 et 2018 (Tx = température maximale, Tn = température minimale)

Phénomènes de température	Forte chaleur Tx > 30°C	Jour d'été Tx > 25°C	Tx > 20°C	Nuit tropicale Tn > 20°C	Gelée Tn < 0°C	Forte gelée Tn < -5°C	Tn < -10°C	Jour sans dégel Tx < 0°C
Nbr de jours	+ 15,4	+ 27,4	+ 36,0	+ 2,0	- 16,3	- 6,7	-1,0	- 7,4

Les journées orageuses et les jours de fortes précipitations (hauteur d'eau > 10 mm) sont en légère augmentation. En revanche le nombre de journées de brouillard a fortement chuté : -71 jours depuis 1973. Les vents de forte intensité, supérieurs à 100 km/h, ne semblent pas plus fréquents, en revanche il y a une vingtaine de jours supplémentaires de vents de moyenne intensité (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Evolution du nombre de jours de divers phénomènes à la station météorologique de Bâle-Mulhouse entre 1973 et 2018

Phénomène	Forte précipitation (cumul > 10 mm)	Orage	Brouillard	Neige	Vent > 57,6 km/h	Vent > 100,8 km/h
Nbr de jours	+ 4,5	+ 1,9	- 71,0	- 0,9	+ 20,2	+ 0,6



Graphique 6 : Moyennes et records d'humidité des sols au cours de l'année en Alsace (ClimatHD)

Entre la période 1961-1990 et 1981-2010, un assèchement faible de +2% au printemps et en été est observé. L'assèchement durant la période hivernale ne semble pas avoir évolué (MétéoFrance n.d.) (**Graphique 6**).

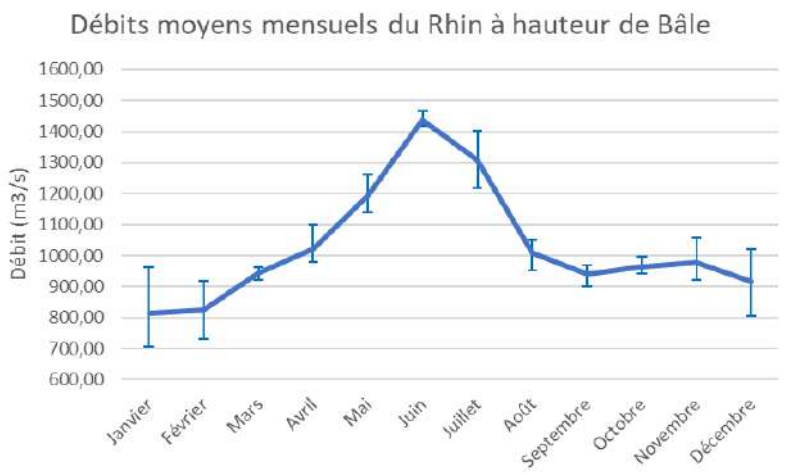
La moyenne du pourcentage de surfaces touchées par la sécheresse est à la hausse ces dernières années. Le phénomène semble aussi devenir plus fréquent, il n'y a eu que quatre années sans sécheresse depuis 1990.

Les vagues de chaleurs et canicules sont également à la hausse ces dernières années. Pour les autres évènements extrêmes (pluies torrentielles, gelées tardives et précoces, tempêtes), les données disponibles ne permettent pas de dégager une évolution précise de leur fréquence.

Hydrographie et impacts du climat

Le Rhin

Le Rhin prend sa source dans les Alpes Suisses où il est alimenté par la fonte des neiges et des glaciers. A hauteur de Bâle, c'est un fleuve à régime nivo-glaciaire : les débits sont plus importants au printemps et en été, les débits mensuels allant de 1000 à 1400 m^3/s en raison des fontes. Les débits vont ensuite progressivement baisser jusqu'à atteindre des minimums en hiver avec une moyenne de 800 m^3/s en janvier/février (**Graphique 7**). Les crues ont généralement lieu à la fin du printemps et en début d'été lorsqu'il y a une fonte massive du stock de neige. Néanmoins d'autres crues peuvent être observées le reste de l'année lorsque des évènements pluvieux intenses ont lieu en Suisse.



Graphique 7 : Débits moyens mensuels (m^3/s) du Rhin à hauteur de Bâle sur la période 1980-2010 (source des données : SMHI-Hypeweb)

Une modification des débits moyens du Rhin est déjà observée depuis le début du siècle dernier. La tendance montre une légère baisse des débits moyens et des débits d'étiage durant l'été hydrologique et une hausse de ces débits durant l'hiver hydrologique (**Tableau 4**) (CIPR 2011).

Tableau 4 : Variations des débits du Rhin au niveau de Bâle en m^3/s (MQ = débit moyen, NM7Q = plus faible débit moyen sur 7 jours par semestre, MHQ = débit journalier moyen le plus élevé sur l'année hydrologique, été hydrologique = mai à octobre, hiver hydrologique = novembre à avril) (Sources : CIPR).

	Eté hydrologique		Hiver hydrologique		MHQ
	MQ	NM7Q	MQ	NM7Q	
1901 – 1930	1312	688	797	451	2492
1971 – 2000	1218	648	910	542	2734
Changement	-7,2 %	-5,8 %	+ 14,1 %	+ 20,4 %	+ 9,7 %

A hauteur de l'Ile du Rhin, le fleuve se sépare en deux : d'un côté le Grand Canal d'Alsace et de l'autre le Vieux Rhin partiellement classé en réserve naturelle. Les débits envoyés sur le Vieux Rhin sont gérés artificiellement par un barrage, initialement il n'était utilisé que comme exutoire en période de crue. Depuis 2010 les débits injectés dans le Vieux Rhin sont calculés selon le débit arrivant en amont, avec des valeurs plancher et plafond, de manière à maintenir suffisamment d'eau pour rétablir les écosystèmes rhénans typiques. Les débits sont fixes à 52 m^3/s de novembre à mars et varient le reste de l'année : entre 54 et 80 m^3/s en mars-avril et septembre-octobre et entre 95 et 150 m^3/s de juin à août. Il sert toujours d'exutoire en cas de crue, le Grand Canal ne pouvant supporter que 1400 m^3/s au maximum.
La température du Vieux Rhin a été mesurée mensuellement entre 2009 et 2017 à hauteur de Kembs. Sur cette période, la température moyenne est de 13,2°C avec des minimums en janvier aux alentours de 5°C et des maximums en fin d'été approchant les 25°C. Une tendance à la hausse des températures est déjà observée, l'augmentation moyenne est de +2,5°C entre 2009 et 2017.

Sur l'Ile du Rhin, le cours d'eau du Petit Rhin a été recréé sur la base d'une ancienne cartographie. Il traverse la zone renaturée avant qu'une partie du débit soit renvoyée dans le Vieux Rhin. Le débit restant continue son chemin pour réalimenter en eau la forêt alluviale qui a évolué vers des bois durs à cause de la rupture de la dynamique naturelle des crues. Le Petit Rhin est alimenté par un débit fixe de $7m^3/s$ et est considéré comme une annexe du Vieux Rhin.

L'Augraben

L'Augraben est issu de ressurgences phréatiques, de la collecte des eaux du Liesbach et de celles du Lertzbach qui prend sa source à Hagenthal-le-Haut et traverse la ville de Saint-Louis. L'Augraben passe par la Petite Camargue Alsacienne avant de se jeter dans le Rhin (**Figure 6**). Il est aussi alimenté par les pluies et les ruissellements, notamment par la présence de bassins d'orage qui débouchent dans son lit ou dans ceux de ses affluents, ce qui en fait le point noir de la réserve au niveau de la qualité des eaux. Les débits sont très variables en fonction des années et des saisons, le débit moyen mensuel est de 0,1 m^3/s sur la période 1993-2018. Selon les évènements pluvieux, les débits moyens mensuels peuvent monter à 0,3-0,5 m^3/s. En période de sécheresse, les débits moyens s'abaissent à moins de 0,05 m^3/s avec un minimum enregistré à 0,02 m^3/s.

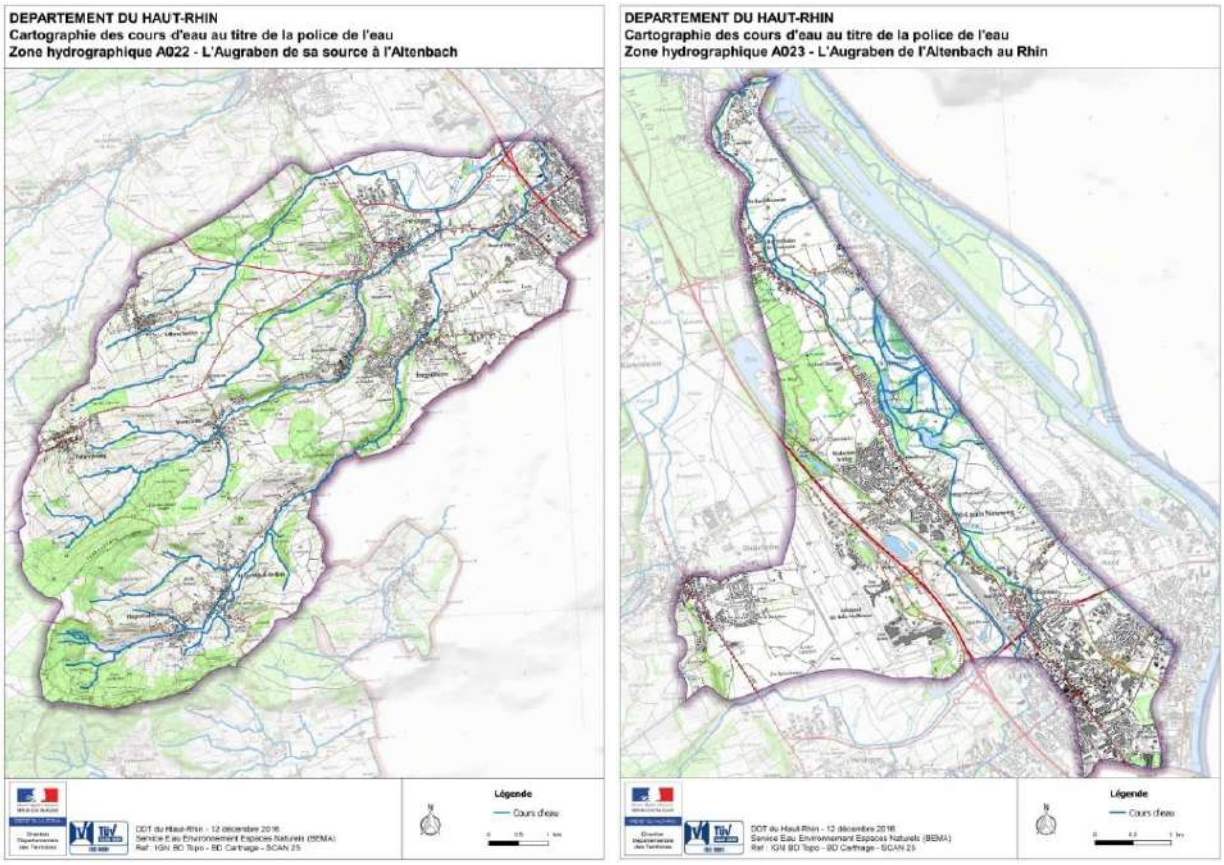
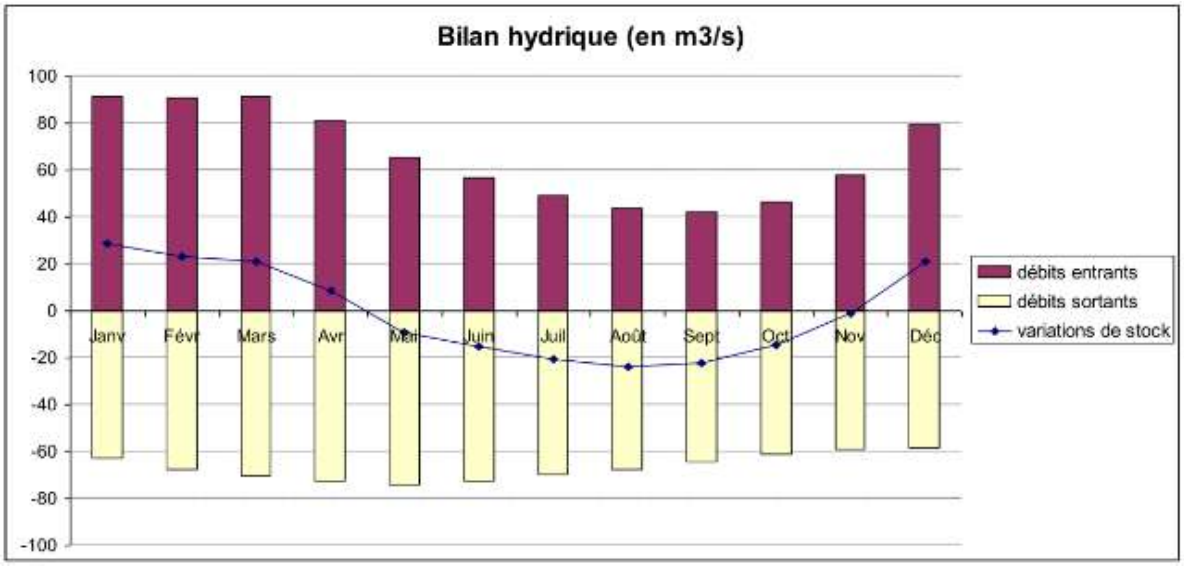


Figure 6 : Cartographie des affluents de l'Augraben (zone hydrographique A022) jusqu'à la traversée de la Petite Camargue Alsacienne et le retour au Rhin (zone hydrographique A023)

La nappe phréatique

La nappe phréatique rhénane, une des plus importantes d'Europe, est rechargée durant l'hiver par les pluies et les cours d'eau ; son niveau maximum est en février. Durant l'été, l'apport se fait quasiment uniquement par les cours d'eau, mais ceux-ci drainent aussi fortement la nappe, menant à un déficit des stocks en eau. Le niveau le plus bas est généralement observé en septembre (**Graphique 8**) (Lecluse 2014).



Graphique 8 : Bilan hydrique de la nappe rhénane (S. Lecluse)

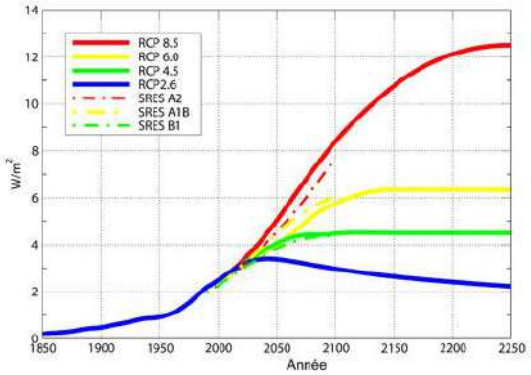
Les deux puits suivis sur la réserve montrent un niveau piézométrique relativement : le battement d'eau est de 1,61 mètres à la Maison Eclusière entre 1975 et 2017 et de 1,5 mètre au nord du site historique entre 1992 et 2018. A l'inverse, pour un puits situé sur la terrasse au-dessus de la Petite Camargue Alsacienne, le battement est de 4,37 mètres entre 1975 et 2017 et la tendance est à la baisse du toit de la nappe phréatique (EauFrance n.d.).
Un autre piézomètre est installé dans le secteur renaturé de l'île du Rhin. La mise en eau du Petit Rhin en 2015 a permis la hausse et la stabilisation du toit de la nappe dans ce secteur qui est partiellement isolé du reste de la nappe par le Grand Canal.

Le climat futur

Les tendances climatiques futures sont principalement issues du site Drias (Météo-France n.d.), mettant à disposition des projections climatiques régionalisées réalisées dans les laboratoires français, et de SMHI-Hypeweb (Copernicus n.d.), un outil du programme européen Copernicus qui rassemble les données obtenues à partir des satellites environnementaux et d'instruments de mesure sur site.
Pour les données provenant de Drias, trois modèles climatiques différents seront comparés :
-la médiane de l'EuroCodex-2014 qui établit une moyenne sur 11 modèles différents ;
-l'IPSL 2014 (LMDZ) : modèle global, spécifiquement développé pour les études du climat terrestre et des atmosphères planétaires, qui fournit des valeurs qualifiées d'optimistes ;
-le CNRM 2014 (Arpège-Climat) : modèle global qui est une version du modèle de prévision météorologique de Météo-France spécialement adaptée pour les études climatiques ; il est jugé plutôt pessimiste.

Les tendances futures sont faites sur la base des valeurs médianes fournies par l'EuroCodex-2014. Les deux autres modèles sont précisés à titre indicatif pour donner une fourchette de valeurs.

Les tendances climatiques futures de la réserve sont établies pour trois horizons : le proche centré sur 2035 (calculé sur la période 2021-2050 et noté H1), le moyen centré sur 2055 (2041-2070, noté H2) et le lointain pour 2085 (2071-2100, noté H3). La période de référence, lorsqu'elle n'est pas précisée, correspond à la période 1976-2005.



Graphique 9 : Évolution du bilan radiatif de la terre ou « forçage radiatif » selon le scénario RCP (Météo France)

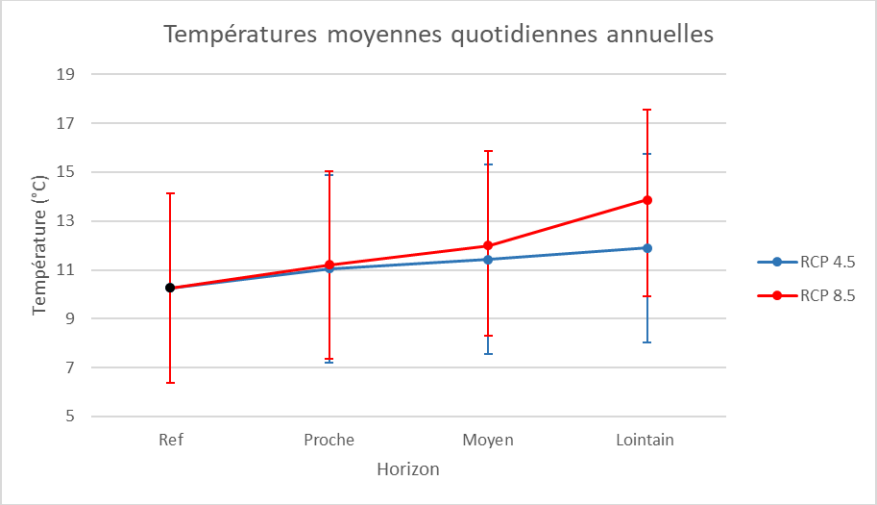
Deux scénarios climatiques sont comparés :

- le **RCP 8.5** : scénario à fortes émissions mondiales de gaz à effet de serre, qui entraine le réchauffement le plus prononcé ;

- le **RCP 4.5** : scénario à émissions mondiales modérées qui se stabilisent en 2050 grâce à des mesures pour limiter le changement climatique.

Phénomènes climatiques

Quel que soit le scénario et le modèle, l'augmentation de la température moyenne quotidienne va se poursuivre jusqu'à la fin du siècle. Pour le **RCP 4.5**, le modèle EuroCodex annonce entre +1,57 et +2,04°C par rapport à la normale selon les saisons d'ici la fin du siècle et le modèle CNRM va jusqu'à +3,26°C en été. Pour le **RCP 8.5** ce sont entre +2,77 à +3,77°C qui sont attendus pour H3 selon l'EuroCodex et jusqu'à +5,7°C en été selon le CNRM. Les températures moyennes quotidiennes annuelles pour le modèle EuroCodex sont présentées dans le **Graphique 10**.



Graphique 10 : Températures annuelles, minimales et maximales moyennes selon les scénarios RCP et les horizons pour le secteur de Saint-Louis (Modèle EuroCodex-2014, Drias)

Selon le **RCP 4.5**, les <u>températures minimales</u> augmenteront de +0,73 à +1,69°C pour H1, de +0,99 à +1,89°C pour H2 et de +1,25 à +2,69°C pour H3. Les <u>températures maximales</u> augmenteront de +0,92 à +1,68°C pour H1, de +0,8 à +2,06°C pour H2 et de +0,92 à +3,84°C pour H3.
Selon le **RCP 8.5**, les <u>températures minimales</u> augmenteront de +0,72 à +1,63°C pour H1, de +1,49 à +2,71°C pour H2 et de +2,82 à +4,93°C pour H3. Les <u>températures maximales</u> augmenteront de +0,21 à +1,61°C pour H1, de +0,91 à +3,51°C pour H2 et de +1,97 à +6,49°C pour H3.

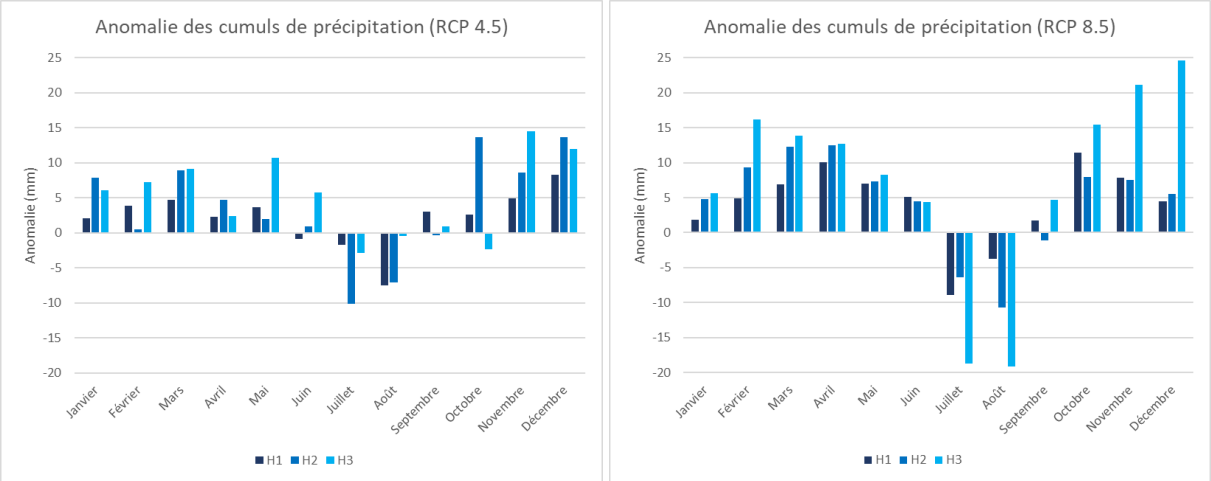
Les phénomènes liés à la température vont également évoluer dans le même sens :
- augmentation du nombre de jours des phénomènes chauds : +13 à +37 <u>jours d'été</u> (Tmax > 25°C) d'ici la fin du siècle par rapport à la normale pour le **RCP 4.5**, +21 à +62 jours pour le **RCP 8.5** ;
- diminution du nombre de jours des phénomènes froids : -26 à -36 <u>jours de gel</u> à l'horizon lointain pour le **RCP 4.5**, -41 à -47 jours pour le **RCP 8.5 (Tableau 5)**.

<u>Tableau 5 :</u> Références et anomalies du nombre de jours d'évènements de température pour le secteur de Saint-Louis selon les deux scénarios RCP et les trois modèles climatiques (Drias)

		RCP 4.5			RCP 8.5		
		EuroCodex	IPSL	CNRM	**EuroCodex**	IPSL	CNRM
Jours d'été (Tmax > 25°C)	***Réf***	***41***	*35*	*43*	***41***	*35*	*43*
	2035	**+11**	+12	+18	**+12**	+4	+17
	2055	**+14**	+18	+18	**+22**	+11	+36
	2085	**+19**	+13	+37	**+43**	+21	+62
Nuits tropicales (Tmin > 20°C)	***Réf***	**0**	*0*	*1*	**0**	*0*	*1*
	2035	**+3**	*+4*	*+3*	**+3**	*+4*	*+3*
	2055	**+3**	*+6*	*+7*	**+9**	*+9*	*+12*
	2085	**+5**	*+8*	*+12*	**+25**	*+20*	*+38*
Jours de gel (Tmin < 0°C)	***Réf***	***67***	*70*	*67*	***67***	*70*	*67*
	2035	**-12**	-16	-20	**-11**	-13	-23
	2055	**-14**	-22	-20	**-22**	-28	-34
	2085	**-26**	-29	-36	**-41**	-47	-46
Jours sans dégel (Tmax < 0°C)	***Réf***	**16**	*19*	*16*	**16**	*19*	*16*
	2035	**-4**	*-9*	*-5*	**-3**	*-5*	*-5*
	2055	**-6**	*-10*	*-4*	**-7**	*-7*	*-10*
	2085	**-9**	*-13*	*-10*	**-12**	*-16*	*-12*

Les modèles s'accordent sur une augmentation du <u>cumul annuel des précipitations</u> pour l'horizon proche mais les tendances divergent pour la fin du siècle, l'un des modèles indiquant une baisse.
Pour le **RCP 4.5**, les anomalies par rapport à la normale sont de +2,03 à +84,82 mm pour la fin du siècle, soit un cumul annuel variant entre 900,58 et 963,54 mm (la valeur de référence utilisée est celle calculée par les modèles).
Pour le **RCP 8.5**, les anomalies par rapport à la normale sont de -11 à +249 mm pour la fin du siècle, soit un cumul annuel variant entre 887,55 et 1127,72 mm.

L'évolution du cumul des précipitations n'est pas homogène sur l'année. Les données Euro-Codex2014 montrent une hausse de l'automne au printemps, qui sera très marquée d'ici la fin du siècle notamment entre octobre et décembre, et une baisse en juillet août (**Graphique 11**). Le modèle CNRM quant à lui présente un déficit marqué des précipitations allant de juillet à octobre pour la fin du siècle, alors que l'IPSL prévoit une hausse des cumuls sur toute l'année.

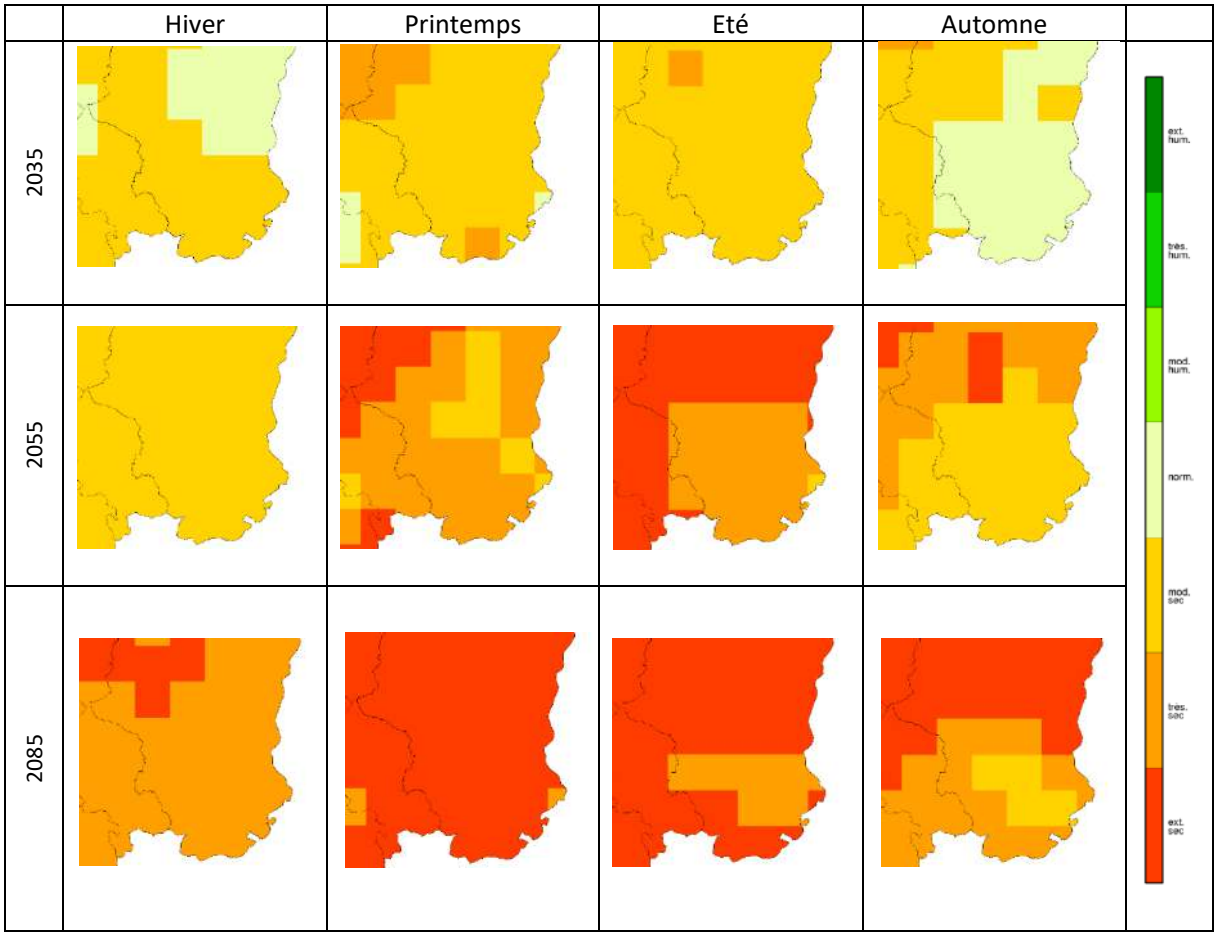


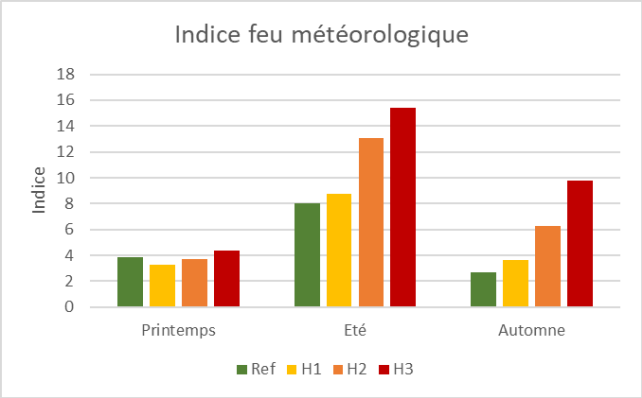
Graphique 11 : Anomalies (en mm) des cumuls mensuels de précipitations selon l'horizon temporel et pour les deux scénarios RCP 4.5 et 8.5 (Modèle EuroCodex-2014, Drias)

La proportion de précipitations intenses (précipitations au-dessus du 90ème centile annuel) pourrait également être amenée à évoluer mais les tendances ne sont pas en accord selon les modèles et les scénarios. Pour le scénario **RCP 8.5**, le modèle du CNRM prévoit une augmentation de ces précipitations sur toutes les saisons d'ici la fin du siècle, alors que l'IPSL les prévoit à la baisse excepté pour l'été, contrairement à l'EuroCodex qui prévoit une augmentation excepté pour l'été. Pour le scénario **RCP 4.5**, les trois modèles sont raccords sur une augmentation en été/automne, mais divisés pour l'hiver et le printemps. Les évolutions restent modérées, entre -6 à +6% par rapport à la normale.

L'indice de sécheresse des sols est construit sur le modèle CNRM en se basant sur les scénarios climatiques SRES (ils ont depuis été remplacés par les scénarios RCP).
Sur la période de référence, l'humidité des sols est considérée comme normale toute l'année. Le scénario B1, équivalent du **RCP 4.5**, prévoit une humidité des sols normale pour les horizons proche et moyen sur les quatre saisons. Pour l'horizon lointain, les sols seraient modérément secs à extrêmement secs.
Selon le scénario **RCP 8.5**, la tendance sera à la sécheresse dans l'avenir. A l'horizon H1, les sols seront modérément secs de l'hiver à l'été et normaux en automne. En revanche, pour l'horizon H2, les sols seront modérément secs en automne et en hiver et très secs au printemps et en été. La Petite Camargue reste dans une zone relativement humide, dès 2055 le reste du département sera dans l'extrêmement sec en été. Cette tendance à la sécheresse se poursuivra pour l'horizon H3, les sols seront très secs à extrêmement secs sur toute l'année (**Tableau 6**).

Tableau 6 : Cartes de sécheresse des sols pour les trois horizons sur le département du Haut-Rhin, selon le modèle CNRM et le scénario pessimiste A2 (équivalent du RCP 8.5)





Graphique 12 : Indice de feu météorologique par saison pour la période de référence et pour les horizons H1 et H2 selon le modèle CNRM et le scénario A2

Le risque d'occurrence de feu de forêt est estimé à partir de l'Indice de Forêt Météo (IFM). La probabilité de voir un feu se déclencher devient non négligeable lorsque l'IFM dépasse 20. Au niveau de la Petite Camargue Alsacienne, l'IFM augmente en été et en automne pour les trois horizons, mais reste inférieur à 20, même pour l'horizon H3 (**Graphique 12**). Le risque de feu de forêt reste donc relativement faible, mais serait à prendre un compte pour éviter des feux d'origine humaine.

Selon Météo-France et le cinquième rapport du GIEC, il n'est pour l'instant pas possible d'établir un lien entre changement climatique et tempête en France. Les projections ne montrent aucune tendance significative sur le long terme. En revanche la probabilité de vents forts pourrait augmenter mais de manière modérée (+5%) (Météo-France n.d.).

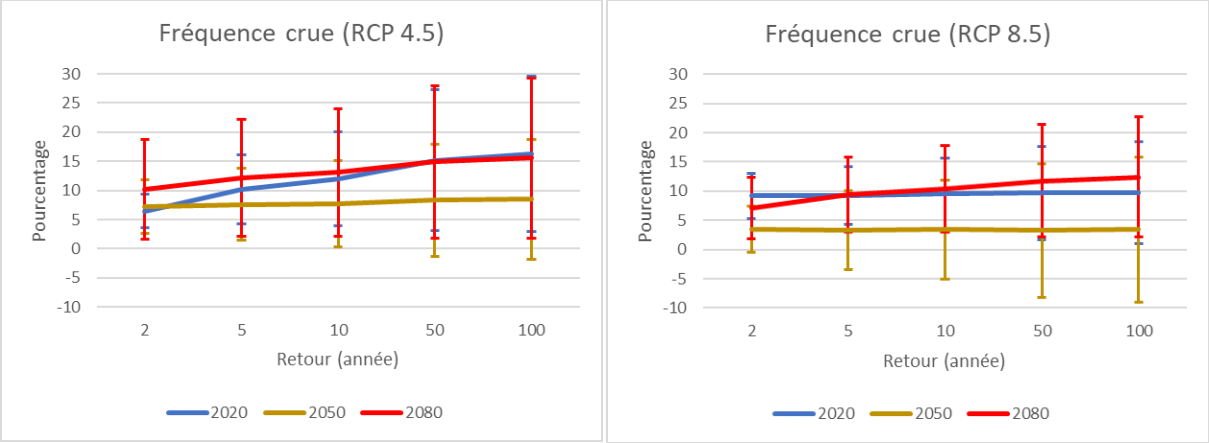
Le risque d'inondation sera amené à augmenter, dû à l'évolution des précipitations. L'augmentation des cumuls en hiver accentuera le ruissellement, notamment si les surfaces agricoles sont à nu. La hausse du nombre de jours de fortes pluies, même si elle semble restreinte, augmentera aussi le risque d'inondations locales par une montée rapide des eaux dans les zones urbanisées, accompagnée par des coulées boueuses. Avec l'augmentation des cumuls de précipitations en hiver, une élévation lente des cours d'eau est aussi à prévoir. Celle-ci peut se révéler dangereuse si elle mène à la surcharge des barrages et à leur rupture. Plusieurs communes de l'agglomération de Saint-Louis sont déjà concernées par le risque de rupture de la digue de canalisation du Rhin.

Hydrographie

Le régime du Rhin pourrait être amené à évoluer d'ici la fin du siècle, passant de glaciaire à nivo-glaciaire. Pour le **RCP 4.5** les débits moyens varieront entre 900 et 1500 m^3/s, avec des minimums à 700 m^3/s en août-septembre et des maximums à 1700 m^3/s en juin-juillet pour la fin du siècle. Pour le **RCP 8.5**, les débits moyens varieront entre 700 et 1500 m^3/s, avec des minimums à 550 m^3/s en septembre et des maximums à 1700 m^3/s en juin pour la fin du siècle (**Graphique 24**). Les étiages seront également plus longs et plus fréquents, notamment durant l'été hydrologique.

Graphique 13 : Débits moyens mensuels du Rhin à hauteur de Bâle pour la période de référence et selon l'horizon temporel, pour les deux scénarios RCP 4.5 et 8.5 (SMHI-Hypeweb)

La prévision des fréquences des crues est également disponible. Les scénarios **RCP 4.5 et 8.5** présentent des tendances et valeurs similaires : il est probable que toutes les crues augmentent en fréquence aux horizons proche et lointain mais la plage d'incertitude est forte pour les crues rares. La fréquence des crues ayant une période de retour de 100 ans peut par exemple augmenter de +2 à +30% pour la fin du siècle. Les tendances sont moins certaines à l'horizon moyen, une réduction des fréquences est possible, notamment pour les crues rares (**Graphique 14**). Les débits pour les périodes de retour correspondent à : 2 ans = 2453 m^3/s, 5 ans = 2965 m^3/s, 10 ans = 3305 m^3/s, 50 ans = 4051 m^3/s et 100 ans = 4367 m^3/s.



Graphique 14 : Prévisions des variations de fréquence des crues par rapport à la normale pour les scénarios RCP 4.5 et 8.5 aux trois horizons (SMHI-Hypeweb)

La température de l'eau devrait aussi augmenter. Pour le mois d'août, une hausse d'origine climatique de +1,5°C est attendue pour 2050 et de +3,5°C pour 2080 selon le CIPR. A cela peuvent encore s'ajouter des pressions anthropiques comme les rejets thermiques. Le nombre moyen de jours/an où l'eau dépassera la température de 25°C à hauteur de Bâle devrait être de 4 à 6 pour 2050 et de 26 à 32 pour 2080 (CIPR 2014). Cette prévision s'appliquant sur le débit en amont de la réserve, on peut supposer que la température du Vieux Rhin qui a un débit moindre sera plus élevée. Le nombre de jours dépassant les 25°C sera également plus important. Selon les données de température récupérées sur SMHI-Hypeweb, la hausse de la température moyenne pourrait dépasser les +5°C pour la fin du siècle.

L'évolution future de la nappe phréatique rhénane sous l'effet du changement climatique est modélisée dans la thèse de C. Thierion (Thierion 2012). Les évolutions sont calculées pour un horizon moyen (2046-2065) et lointain (2081-2098) et présentées sous forme d'évolution par rapport à la période 1961-2000. Dans le futur proche, le **modèle Arpège A1B** (intermédiaire) prévoit un abaissement de la nappe de -0,9 mètres entre Bâle et Mulhouse et le **modèle MRI** un abaissement pouvant atteindre presque -3 mètres. Il existe 4 autres modèles prédisant une augmentation du niveau de la nappe, ces modèles étant associés à une augmentation des précipitations. Globalement, le mois de février considéré comme la période des hautes eaux devrait voir le niveau de la nappe augmenter jusqu'à presque +2 mètres selon les modèles. La période des basses eaux, en septembre, verra son niveau baisser.
Dans le futur lointain, le **modèle Arpège A1B** prévoit une faible augmentation du niveau de la nappe de +0,3 mètres au niveau de Bâle et le **modèle Arpège A2** (pessimiste) prévoit une diminution globale de la hauteur d'eau de presque -1 mètre. Durant le mois de février, le niveau augmente pour les deux modèles et baisse en septembre. Les autres modèles sont en accord.
L'évolution du niveau de la nappe est fortement corrélée à l'évolution des précipitations pour chacun des modèles. Si celles-ci augmentent, le niveau global de la nappe devrait augmenter aussi, avec néanmoins des variations dans l'année. En suivant les prévisions de précipitations du modèle Euro-Codex2014, le niveau devrait augmenter en hiver et baisser en fin d'été/début d'automne par rapport à la normale.

L'Augraben étant partiellement d'origine phréatique, on peut s'attendre à voir son régime évoluer en fonction du niveau de la nappe : le débit devrait augmenter en hiver et diminuer en fin d'été. Etant aussi alimenté par les pluies et les déversoirs d'orage, l'effet de l'augmentation des précipitations en hiver s'ajoutera à ceux de la nappe. L'évolution du régime des précipitations pourrait aussi augmenter le lessivage des sols agricoles et des milieux urbains, chargeant l'Augraben en matières organiques et en polluants tels que le nitrate.

Synthèse détaillée des données climatiques futures

Pour les données Drias, les valeurs dans le tableau sont les valeurs médianes du modèle EuroCodex-2014.

		RCP 4.5 (scénario optimiste)			RCP 8.5 (scénario pessimiste)			Source	Tendance future
		Proche	Moyen	Lointain	Proche	Moyen	Lointain		
T° moyenne quotidienne (°C)	Hiver	+0,92	+1,19	+2,04	+0,69	+1,89	+3,64	Drias	↗
	Printemps	+0,66	+0,85	+1,57	+0,7	+1,36	+2,77		
	Eté	+0,95	+1,34	+1,71	+1,17	+1,95	+3,77		
	Automne	+0,87	+1,71	+1,93	+1,06	+2,15	+3,47		
Jours d'été	Année	+11	+14	+19	+12	+22	+43	Drias	↗
Jour de gel	Année	-12	-14	-26	-11	-22	-41	Drias	↘
Cumul des précipitations (mm)	Hiver	+17,55	+21,54	+27,36	+15,64	+30,18	+50,69	Drias	↗
	Printemps	+10,81	+9,88	+16,14	+23,94	+27,98	+37,9		↗
	Eté	-9,09	-8,5	+4,13	-2,19	-5,5	-41,05		↘
	Automne	+6,46	+17,42	+16,39	+10,52	+12,05	+43,17		↗
Précipitations intenses (%)	Hiver	+1,18	+2,15	+0,56	+1,32	+0,89	+2,78	Drias	↗
	Printemps	-1,12	-1,4	+0,21	+2,52	+1,27	+3,01		
	Eté	-1,34	-1,25	-0,74	-2,05	+0,62	-2,56		
	Automne	+2,71	+2,54	+4,08	+0,74	+3,06	+6,48		
Sécheresse des sols	Hiver	Normale	Normale	Mod. sec	Mod. sec	Mod. sec	Très sec	Drias	↗
	Printemps	Normale	Normale	Ext. sec	Mod. sec	Très sec	Ext. sec		
	Eté	Normale	Normale	Mod. sec	Mod. sec	Très sec	Très sec		
	Automne	Normale	Normale	Mod. sec	Normale	Mod. sec	Très sec		
Indice feu de forêt	Printemps	3,03	2,79	4,18	3,29	3,74	4,39	Drias	↗
	Eté	10,59	8,86	12,3	8,76	13,06	15,39		
	Automne	4,56	4,07	5,27	3,61	6,3	9,8		
Tempête/vents	Année	Légère augmentation vents violents (+5%) mais pas de lien avec les tempêtes						Météo France	↗
Rhin : variation des débits moyens (%)	Hiver	+16	+19	+22	+12	+22	+31	Swicca	↗
	Printemps	+10	+6	+7	+13	+10	+11		↗
	Eté	+0	-7	+0	-5	-15	-27		↘
	Automne	+7	+15	+14	+1	+7	+9		↗
Rhin : crue	Année	Probable augmentation de la fréquence des crues, notamment rare						SMHI, CIPR	↗
Rhin : température	Année	+1,5°C pour 2050, +3,5°C pour 2080						CIPR	↗
Nappe phréatique	Hiver	Hausse du toit de la nappe						C. Thierion	↗
	Eté	Baisse du toit de la nappe							↘
Augraben	Hiver	Hausse des débits moyens							↗
	Eté	Baisse des débits moyens							↘

LES PRESSIONS NON CLIMATIQUES

On entend par pressions non climatiques toutes les activités anthropiques ou autres facteurs naturels qui vont avoir un effet direct ou indirect sur les objets analysés et qui peuvent influencer leur devenir selon leur propre évolution. Les pressions prises en compte dans le DVO sont listées et décrites ci-dessous.

- **Activités touristiques et de loisirs** : elles sont traitées ici pour les impacts négatifs qu'elles peuvent avoir à travers le non-respect de la réglementation (hors-sentier, déchets, chiens non tenus en laisse, nuisances sonores, dégradations, cueillette de plantes, etc.). La fréquentation pourrait baisser à cause des hivers plus pluvieux mais aller à la hausse en période estivale, la réserve pouvant être vue comme un lieu de fraicheur, et entrainer une multiplication des infractions.
- **Activités aquatiques sur le Vieux Rhin :** la baignade est interdite dans la réserve car considérée comme du hors-sentier, mais elle est tolérée dans la zone dite du bouchon de Kembs pour essayer de contenir les baigneurs et de limiter le dérangement des milieux naturels. Cette fréquentation est malheureusement associée à d'autres infractions comme la création de places de feu et l'abandon de déchets. Dans le futur, la hausse de la fréquence des vagues de chaleur et des canicules rendra la baignade dans le Vieux Rhin encore plus attractive. Il est fort probable que la zone du bouchon arrive à saturation et que les baigneurs s'étalent de plus en plus sur d'autres secteurs de la réserve naturelle, perturbant alors les milieux et dérangeant la faune. A cela s'ajoute également l'utilisation d'embarcations qui semble de plus en plus fréquente et dont l'effet de dérangement est couplé à un effet destructeur du milieux si le fond de l'embarcation racle le substrat.
- **Agriculture :** activité très présente, même au sein des limites de la réserve. En plus de la rupture de la continuité écologique, des pollutions par les produits phytosanitaires et des pompages pour l'irrigation, les milieux naturels peuvent être occasionnellement endommagés lors des passages de machines et lors de l'installation de stations de pompage. Des solutions sont recherchées pour réduire la pression sur la biodiversité comme par exemple la coopération avec certains agriculteurs dans le cadre du programme Jachères Environnement et Faune sauvage. Néanmoins, on s'attend à ce que la pression augmente si les pratiques agricoles actuelles se poursuivent, notamment la pression sur les ressources en eau. La pression pourrait éventuellement stagner si une adaptation rapide des pratiques agricoles se fait.
- **Pêche :** activité tolérée sur le canal de Huningue et sur le Vieux Rhin, plutôt respectueuse de l'environnement mais des impacts restent possibles (piétinement de la végétation, dérangement du fond du Vieux Rhin et de l'avifaune, stress sur la faune piscicole). Occasionnellement, de la pêche en infraction est relevée sur des secteurs non autorisées. Cette pression devrait rester stable, les espèces présentes n'étant pas forcément des plus attractives pour l'alimentation ou pour la pêche sportive et la plupart des spots de pêche étant difficilement accessibles, notamment sur l'Ile du Rhin.
- **Production d'énergie hydroélectrique sur le Rhin :** elle conditionne les débits accordés à la réserve et cause une rupture de la continuité écologique avec des impacts très forts sur la biodiversité. Des mesures compensatoires ont depuis été prises pour réduire la pression par l'installation de passes à poissons, l'augmentation des débits accordés au Vieux Rhin et la renaturation des anciennes parcelles agricoles de l'Ile du Rhin. Néanmoins, la pression de cette activité pourrait augmenter dans le futur si les débits accordés ne sont pas adaptés et s'il y a priorisation des centrales lors des futurs étiages plus longs et plus sévères. Si les objectifs écologiques sont adaptés et maintenus, la pression devrait rester stable.
- **Urbanisation périphérique :** très présente même aux abords directs de la réserve, elle cause une rupture de la continuité écologique et occasionnellement des dégâts dans la réserve lors des

chantiers. La cohabitation avec les riverains peut aussi parfois se révéler compliquée lorsque des conflits émergent, par exemple suite à des dégâts causés par la faune sauvage ou à des arbres jugés gênants. La croissance démographique galopante du secteur des Trois frontières et la volonté de rendre le secteur attractif devraient accentuer la pression de l'urbanisation.

- **Stations d'épuration et déversoirs d'orage :** ils peuvent causer des apports en polluants dans les milieux naturels, notamment via l'Augraben, mais le système d'assainissement a été mis aux normes ce qui a permis de réduire la pression. Néanmoins dans le futur, les canicules pourraient perturber les processus microbiens et les sécheresses causer une concentration des polluants. La hausse des précipitations hivernales et torrentielles pourrait saturer les systèmes, causant des débordements plus fréquents dans les milieux naturels.
- **Espèces exotiques envahissantes animales et végétales :** c'est déjà aujourd'hui une des principales problématiques de la réserve qui pèse sur la faune et la flore locale. Dans le futur, les évènements climatiques extrêmes perturberont les milieux et pourront créer des conditions favorables à la prolifération des espèces exotiques. De nouvelles espèces seront aussi probablement amenées à s'installer.
- **Maladies, pathogènes et insectes phytophages :** ces dernières années, on relève la Chalarose du frêne qui cause la mort de nombreux arbres et la Chytridiomycose touchant les amphibiens. Dans le futur, les nouvelles conditions climatiques et les hivers doux seront probablement favorables au développement de nouvelles maladies ou à l'installation d'insectes phytophages.
- **Prédation :** augmentation probable de la pression suite à l'agrandissement de la réserve et à l'installation de nouvelles espèces ou populations animales ou végétales. Cette pression devrait être stable dans le futur une fois l'écosystème en équilibre, à moins que de nouvelles espèces prédatrices exogènes fassent leur apparition.
- **Fermeture des milieux :** stabilisation ces dernières années grace aux interventions par pâturage et fauche pour freiner la dynamique. La fermeture des milieux pourrait s'accélérer dans le futur, plus particulièrement pour les milieux humides en voie d'assèchement qui offriront des conditions favorables à l'installation des arbres et arbustes pionniers.

Les tendances d'évolution jusqu'à aujourd'hui et supposées dans le futur sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7 : Synthèse des évolutions récente et attendue des pressions non climatiques

	Evolution de la pression sur la réserve	
	Jusqu'à aujourd'hui	Attendue dans le futur
Activités touristiques et de loisirs	↗	↗
Activités aquatiques sur le Vieux Rhin	↗	↗
Agriculture	↗	→ **ou** ↗
Pêche	→	→
Production d'énergie hydroélectrique sur le Rhin	↘	→ **ou** ↗
Urbanisation périphérique	↗	↗
Stations d'épuration et déversoirs d'orage	↘	↗
Espèces exotiques envahissantes	↗	↗
Maladies et pathogènes	↗	↗
Prédation	↗	→ **ou** ↗
Fermeture des milieux	→	↗

RESULTATS DU DIAGNOSTIC DE VULNERABILITE ET D'OPPORTUNITE

Dans le tableau ci-dessous sont présentées les appréciations par objet obtenues via le diagnostic. Un commentaire résume les principaux effets attendus du changement climatique. Disponibles en annexe, les fiches objet regroupent toutes les informations qui ont été utilisées dans le diagnostic.

Objet	Vulnérabilité ou opportunité future	Commentaire
Habitats naturels		
Eaux courantes	Vulnérabilité très forte	Les habitats d'eau courantes seront fortement impactés durant la saison estivale par les étiages plus longs et plus fréquents, une augmentation de la température de l'eau, une eutrophisation et l'arrivée de nouvelles espèces, menant à la disparition des espèces d'eau fraiche ou sensibles aux perturbations. A cela s'ajouteront d'autres évènements perturbateurs comme la hausse de la fréquence des crues notamment par les précipitations sous forme de pluie au lieu de neige. *Bibliographie : NaturalEngland and RSPB 2014, CIPR 2013, Edwards et al. 2010, Moss 2015*
Eaux douces stagnantes	Vulnérabilité très forte	Une modification de la composition spécifique végétale et animale est à attendre. Avec les sécheresses et les canicules, il y aura un risque important d'eutrophisation des milieux qui serait néfaste pour les espèces sensibles et surtout une réduction de la surface d'habitat en période estivale, voire un assèchement pour les milieux phréatiques et pluviaux. *Bibliographie : Dehédin 2014; Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie 2012; Moss 2015; NaturalEngland and RSPB 2014*
Tourbières et marais	Vulnérabilité très forte	Il y a un risque important d'assèchement et d'eutrophisation de ces milieux en période estivale, de colonisation par des espèces ligneuses telles que le saule ou par des espèces invasives, menant à la perte des espèces animales et végétales exigeantes typiques de ces milieux. *Bibliographie : NaturalEngland and RSPB 2014; Wheeler et al. 2004*
Prairies humides et mégaphorbiaies	Vulnérabilité très forte	Ces milieux risquent de souffrir des sécheresses à répétition durant la période estivale, avec une modification importante de la composition spécifique, une colonisation par des espèces arborescentes ou envahissantes et une réduction des surfaces d'habitat. *Bibliographie : Carey 2015; Joyce, Simpson, and Casanova 2016; NaturalEngland and RSPB 2014; Wheeler et al. 2004*
Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides	Vulnérabilité très forte	Une restructuration des milieux forestiers est à attendre, notamment une réorganisation dans l'espace des boisements humides qui se confineront dans les dépressions humides, des boisements plus secs qui s'installeront sur les zones hautes et une généralisation des boisements intermédiaires. Dans un premier

		temps, il est probable que les changements soient marqués par une forte mortalité. *Bibliographie : Kieffer, Genot, and Graser 2013; NaturalEngland and RSPB 2014; Rivaes et al. 2014*
Prairies mésophiles	Vulnérabilité moyenne	Ces milieux ne devraient pas être sensibles dans leur structure, mais des modifications de la composition spécifique selon la microtopographie du sol sont à attendre et il y aura un risque plus important d'installation des EEE. Il y a aussi un possible impact sur la faune par le décalage de la phénologie de la végétation. *Bibliographie : Carey 2015; Craine et al. 2013; NaturalEngland and RSPB 2014*
Steppes et prairies calcaires	Vulnérabilité faible	Les prairies sèches sont déjà adaptées aux stress thermique et hydrique. La composition spécifique pourrait légèrement changer et de nouvelles espèces méditerranéennes pourraient s'installer. La vulnérabilité repose principalement sur le risque d'envahissement par des espèces compétitrices précoces en sortie des hivers humides. *Bibliographie : Basto et al. 2018; Carey 2015; Maalouf et al. 2012; NaturalEngland and RSPB 2014*
Landes et fruticées	Vulnérabilité faible	Il y a peu de connaissances sur l'impact du CC sur ces milieux. Il y aura probablement une modification de la composition spécifique due aux sécheresses ou un froid hivernal qui ne sera plus assez intense pour provoquer la floraison de certaines espèces à baies. *Bibliographie : NaturalEngland and RSPB 2014*
Communautés associées aux cultures	Vulnérabilité moyenne	Les communautés pourraient se modifier avec les sécheresses, mais l'évolution dépendra surtout des pratiques agricoles. *Bibliographie : NaturalEngland and RSPB 2014*
Espèces patrimoniales		
Saumon atlantique *(Salmo salar)*	Vulnérabilité très forte	La modification des débits associée à la hausse de la température de l'eau du Rhin pourraient avoir un impact négatif sur le cycle de vie et sur la physiologie du saumon, notamment pour les stades juvéniles. *Bibliographie : Jonsson and Jonsson 2009; Ministère de l'Ecologie 2012*
Triton crêté (*Triturus cristatus*)	Vulnérabilité forte	Le risque principal est la réduction, la dégradation et la disparition des habitats, causant notamment une mortalité importante pour les larves plus sensibles que les adultes et non mobiles. *Bibliographie : Henle et al. 2008; MNHN and ONEMA 2015*
Vigne sauvage *(Vitis vinifera L. subsp. sylvestris (C.C. Gmelin) Hegi)*	Vulnérabilité forte	Les sécheresses à répétition et la baisse de la nappe phréatique réduiront fortement les habitats favorables à cette espèce et seront défavorables à l'implantation des jeunes pieds. *Bibliographie : Ferrez and Lacombe 2017*
Cuivré des marais (*Lycaena dispar*)	Vulnérabilité moyenne	L'augmentation de la température pourrait être favorable à la physiologie du Cuivré des marais et à l'extension de son aire de répartition. Sa vulnérabilité repose sur la probable réduction des habitats humides qu'il fréquente. *Bibliographie : MNHN and ONEMA 2015; Settele et al. 2008*
Œillet superbe (*Dianthus superbus L*)	Vulnérabilité moyenne	Cette espèce est présente uniquement sur deux stations dans la PCA, ce qui la rend vulnérable, voire pourrait causer sa disparition si ces stations s'assèchent. *Bibliographie : Anon 2020*
Blongios nain (*Ixobrychus minutus*)	Vulnérabilité moyenne	L'augmentation de la température serait favorable d'un point de vue physiologique, mais les habitats et les sources de nourriture seront fortement menacés par les sécheresses estivales.

		Bibliographie : BirdLife International 2015
	Espèces régulées	
Sanglier d'Europe (*Sus scrofa*)	Opportunité forte	Cette espèce généraliste devrait profiter du changement climatique grace à une disponibilité alimentaire plus longue sur l'année et à des hivers moins rudes en faveur de la survie des juvéniles. *Bibliographie : ONCFS 2019; Vetter et al. 2015*
Séneçon du cap (*Senecio inaequidens*)	Opportunité très forte	Le Séneçon devrait profiter de l'augmentation des températures et des sécheresses pour coloniser des nouvelles niches. *Bibliographie : Heger 2014; Monty 2016; Val'hor 2017*
Arbre à papillons (*Buddleja davidii*)	Opportunité très forte	Le changement climatique sera en faveur de cette espèce, elle pourrait éventuellement régresser sur les zones au sol très sec. *Bibliographie : Ebeling and Tallent-Halsell 2009; Tallent-Halsell and Watt 2009*
Robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia*)	Opportunité moyenne	Le robinier est une espèce très compétitive au fort pouvoir reproducteur qui profitera du changement climatique, il pourrait régresser sur des zones devenant sèches mais possède une très bonne capacité d'adaptation. *Bibliographie : Anon 2019; Doroftei M., Mierla M., Petras-Sackl T., Menegalija T. 2012; Kleinbauer et al. 2010; Nadal-Sala et al. 2019*
Solidage du Canada (*Solidago canadensis*)	Opportunité très forte	Espèce très compétitive dotée d'un fort pouvoir reproducteur qui profitera du changement climatique. Néanmoins des zones devenant trop humides au printemps ou trop sèches pourraient entrainer un retard de développement. *Bibliographie : Cao et al. 2018; Popay and Parker 2019; Wang et al. 2016*
Renouée du Japon (*Fallopia japonica*)	Opportunité forte	Espèce très compétitive, qui est sensible à la sécheresse mais qui pourrait trouver de nombreuses niches à coloniser en bordure du Rhin suite aux aléas climatiques. *Bibliographie : Shaw 2019*
	Outils et moyens de gestion	
Bétail	Vulnérabilité moyenne	Les animaux utilisés sont rustiques, mais à surveiller tout de même à cause du risque d'hyperthermie lors des canicules, d'un manque de nourriture possible lors des sécheresses et des maladies plus fréquentes à cause des hivers humides. *Bibliographie : Chase 2007; Delerue 2019; Genoux et al. 2020; Seif, Johnson, and Lippincott 1979*
Pâturage naturel	Vulnérabilité faible	Il y a un risque de décalage par rapport à la phénologie de la végétation et de la faune et une pression de pâturage à modifier selon la réponse des prairies au changement climatique.
Gestion des niveaux d'eau sur le cœur de la réserve	Vulnérabilité très forte	L'apport en eau depuis le canal est censé rester constant dans le futur, mais les débits en cours de circuit pourraient devenir insuffisants lors des périodes de sécheresse et les canaux se dégrader avec les aléas climatiques.
Fauchage mécanique	Vulnérabilité moyenne	Il y a un risque de décalage par raport à la phénologie de la faune et de la flore, mais surtout les conditions de travail pourraient devenir plus difficiles pour le personnel de gestion.
Non-intervention sur les milieux forestiers	Vulnérabilité forte	La mortalité forestière risque d'augmenter dans un premier temps, altérant durablement la biodiversité et causant des chutes d'arbre dangereuses pour les usagers et les riverains. En parallèle, les boisements futurs pourraient ne plus correspondre aux objectifs de gestion initiaux et des EEE pourraient proliférer.

Lutte contre les espèces végétales invasives	Vulnérabilité moyenne	De nouvelles espèces invasives pourraient arriver et nécessiter des interventions. La pression d'intervention devra probablement être augmentée pour certaines espèces déjà présentes. Ponctuellement, les conditions de travail pourraient devenir trop difficiles pour le personnel et les bénévoles.
Régulation des sangliers	Vulnérabilité moyenne	Les sangliers proliféreront probablement et la pression de régulation deviendra insuffisante pour limiter les dégâts. Les conditions météorologiques nécessiteront de décaler les dates de régulation pour la sécurité et le confort des régulateurs.
Démoustication	Vulnérabilité moyenne	Les conditions plus chaudes et la multiplication des points d'eau en sortie d'hiver deviendront plus favorables aux populations de moustiques et à l'arrivée de nouvelles espèces, nécessitant des interventions à plus grande échelle ou plus fréquentes. *Bibliographie : GREC-SUD n.d.*
Moyens humains	Vulnérabilité moyenne	Il y aura un impact sur la difficulté du travail et une augmentation des risques pour la santé des salariés/bénévoles à cause des évènements climatiques extrêmes. *Bibliographie : Inserm 2015*
Suivis scientifiques	Vulnérabilité moyenne	Les suivis devront s'adapter à la phénologie ou à l'arrivée/disparition des espèces. Les conditions de suivi peuvent éventuellement devenir plus difficiles.
Infrastructure (bureaux, musées, observatoires, clôtures)	Vulnérabilité forte	Les infrastructures pourraient subir des dégâts en raison des coups de vent plus fréquents, des chutes d'arbres et d'une humidité constante en hiver. De légers mouvements de terrain dus aux sécheresses sont aussi possibles.
Activités socio-économiques		
Activités touristiques et de loisirs	Vulnérabilité moyenne	Une baisse de la fréquentation à cause des hivers pluvieux et une hausse de la fréquentation comme lieu de fraicheur en période estivale sont à attendre. Un décalage des pics de fréquentation le matin et le soir en période caniculaire est possible. *Bibliographie : Fisichelli et al. 2015*

LE RECIT PROSPECTIF DE LA RESERVE

Les évolutions probables de la réserve naturelle sont présentées ci-dessous. Ces grandes tendances ont été construites sur la base de la littérature déjà existante mais de nombreuses inconnues restent encore à découvrir, comme les répercussions indirectes que peuvent avoir la modification des habitats et de la composition spécifique des communautés. Les connaissances seront complétées à la suite du projet Natur'Adapt, notamment par les observations qui seront faites sur le terrain. Un récit prospectif détaillé est disponible pour chaque objet analysé dans les fiches objet en annexe.

→ Le caractère humide de la réserve sous pression :

Les habitats du Rhin et alimentés par l'eau du Rhin se maintiendront mais il y aura tout de même une modification de la composition spécifique, une régression des espèces d'eau fraiche, une dégradation de la qualité de l'eau et des rajeunissements plus fréquents des communautés à cause des aléas climatiques. En revanche, les milieux aquatiques dépendant uniquement de l'eau phréatique et/ou pluviale s'assècheront probablement en période estivale pour la plupart et évolueront vers des milieux humides temporaires voire un type de milieux plus secs causant alors la perte de la biodiversité caractéristique des mares. Tous les milieux humides annexes seront soumis aux tendances inverses d'un surplus d'eau en hiver et d'un déficit en été, menant à une régression des communautés végétales sensibles ou typiques et à la possible évolution de certains milieux vers d'autres milieux plus secs.

Les roselières :

La végétation constituante des roselières, notamment les phragmites, est typique des sols inondés et humides mais est également capable de se développer sur des sols plus secs. Les roselières devraient se montrer relativement résilientes face aux sécheresses, bien que la végétation accompagnante et la faune seront amenées à changer selon les conditions d'inondation. En revanche, le risque incendie pourrait devenir une menace de plus en plus présente, notamment sur des roselières sèches.

→ Une refonte des milieux forestiers :

En plus de la composition spécifique qui sera amenée à évoluer selon le climat, il est probable que les boisements se réorganisent selon la microtopographie des milieux. Les boisements intermédiaires supportant à la fois les hivers humides et les étés secs pourraient devenir dominants. Les boisements secs se cantonneront sur les points hauts et les sols les plus drainants et les boisements humides aux dépressions. Cette réorganisation débutera probablement par une forte mortalité et la création de nombreuses trouées forestières. En parallèle, le succès de la restauration d'une forêt alluviale sur l'Ile du Rhin dépendra aussi d'un ajustement du débit accordé au Petit Rhin, celui-ci étant déjà insuffisant aujourd'hui pour assurer une alimentation en eau efficace du secteur forestier. Les essences seront aussi amenées à évoluer : il est probable que le Hêtre commun disparaisse et que des essences méditéranéennes comme le Chêne vert remontent depuis le sud.

→ Des milieux mésiques peu menacés :

Les milieux mésophiles, comme les prairies, souffriront moins du changement climatique que les milieux humides. Une modification de la composition spécifique se fera selon les nouvelles conditions climatiques et la microtopographie du sol mais dans l'ensemble ces milieux devraient se montrer relativement résilients

grâce à leur richesse spécifique importante.

→ Une opportunité pour les milieux xériques :
Il est probable que la surface de prairies sèches augmente dans le futur, notamment grace à l'évolution de la composition spécifique des prairies mésophiles situées sur des sols drainants type alluvions du Rhin et à la probable arrivée de nouvelles espèces à tendance méditerranéenne.

→ Une modification de la faune :
Les espèces associées à des températures fraiches et en limite sud d'aire de répartition seront amenées à disparaitre. Avec elles, des espèces exigeantes, associées aux milieux aquatiques/humides, pourraient également régresser, souffrant de la dégradation de la qualité de l'eau causée par les canicules et les sécheresses à répétition ou des ressources qui y sont associées. Les espèces hibernantes seront impactées négativement par les hivers plus doux : la consommation accrue des réserves d'énergie causera un affaiblissement des individus en sortie d'hiver et une baisse de leur succès reproducteur, voire de la mortalité.
En revanche, les espèces plus généralistes profiteront d'un allongement de la saison de végétation offrant une disponibilité alimentaire plus longue et une meilleure survie hivernale pour les non hibernants. En parallèle, l'augmentation des températures mènera à l'installation de nouvelles espèces, en faveur d'une possible augmentation locale de la biodiversité.

→ La menace croissante des espèces exotiques envahissantes :
Bien que les sécheresses puissent limiter la prolifération des EEE végétales sur les milieux les plus xériques, la perturbation des milieux humides et mésiques couplée à la hausse des températures créera des conditions favorables à leur prolifération. Il en va de même pour les espèces animales échappées de captivité dont l'installation était jusqu'à maintenant limitée par les hivers froids.

→ Le pâturage naturel perturbé :
En plus des impacts sur la santé et sur le comportement des animaux des hivers humides, sécheresses et canicules, la pression actuelle de pâturage risque de devenir inadaptée. En raison des hivers arrosés et des températures plus douces, un pic de production de biomasse est à prévoir en début de saison de végétation. Ces hivers humides seront aussi plus propices à la création de bourbiers en faveur d'une végétation rudérale. Puis, avec les sécheresses estivales, la production de biomasse sera à l'arrêt et la végétation plus sensible au stress supplémentaire qu'impose sur elle le pâturage.

Vers l'utilisation de nouvelles races de bétail ?

Les races actuelles sont rustiques et faites pour être en extérieur toute l'année. Néanmoins si l'on considère les vaches Highlands, elles sont initialement adaptées au climat écossais. Cela amène à s'interroger sur leur capacité à résister aux futures canicules et vagues de chaleur tout en maintenant un bien-être suffisant pour leur santé. Si les conditions deviennent inadéquates pour elles, il faudra probablement réfléchir à une nouvelle race rustique en remplacement.

→ Une gestion de l'eau à adapter :
Les besoins des milieux en eau seront amenés à évoluer, notamment par la demande accrue en période estivale pour maintenir les habitats dans un état fonctionnel. La configuration actuelle et les méconnaissances sur le circuit de l'eau, plus les risques qui pèsent sur son bon fonctionnement entre les embâcles et l'érosion, pourraient perturber la distribution et ne pas permettre une gestion assez fine pour assurer une alimentation efficace.

→ Des conditions de travail plus difficiles pour les salariés :
La hausse des précipitations hivernales, en plus de créer des conditions inconfortables pour les salariés, rendront certains terrains difficilement praticables voire excluront l'utilisation de machines lourdes qui pourront tasser les sols, obligeant à intervenir manuellement. A côté de cela, les températures estivales plus élevées et les canicules menaceront directement la santé des employés, notamment lors des travaux physiques.

→ Une fréquentation touristique qui sera amenée à évoluer :
Il est probable que la réserve soit délaissée par les visiteurs durant les hivers pluvieux. En revanche la fréquentation pourra aller à la hausse en période estivale, notamment comme lieu de fraicheur. En période caniculaire, la fréquentation se décalera en matinée et en soirée.

LES NOUVEAUX ARRIVANTS

Avec la modification des conditions climatiques, de nouvelles espèces commencent à s'installer dans la réserve, que ce soit des remontées naturelles vers le nord ou la prolifération d'espèces exotiques échappées de captivité. Cette partie permet de citer quelques espèces nouvellement observées, ainsi que quelques espèces qui sont supposées arriver dans le futur.

- <u>Les oiseaux :</u>

La Bouscarle de Cetti (*Cettia cetti*) et la Cisticole des Joncs (*Cisticola juncidis*) sont deux espèces non migratrices, pour l'instant très rarement observées sur la réserve, dont les effectifs pourraient augmenter ces prochaines années grace à la diminution du gel en hiver.
L'Hypolaïs polyglotte (*Hippolais polyglotta*) est une espèce migratrice, qui se retrouve plutôt dans les milieux de gravière, qui est de plus en plus fréquente et pourrait rentrer en compétition avec l'Hypolaïs ictérine (*Hippolais icterina*).
La Fauvette grisette (*Sylvia communis*) et la Fauvette babillarde (*Sylvia curruca*) présentes dans les milieux secs de buissons épineux deviendront aussi plus fréquentes et pourront profiter d'une probable augmentation de surface de leur habitat.
Le Bruant jaune (*Emberiza citrinella*) pourrait être remplacé par le Bruant zizi (*Emberiza cirlus*) dont des populations sont déjà installées du côté allemand.
L'Hirondelle des rochers (*Ptyonoprogne rupestris*) a fait récemment son apparition dans les carrières allemandes au bord du Rhin et pourrait utiliser la réserve comme zone de chasse.
Le Guêpier d'Europe (*Merops apiaster*), régulièrement de passage, pourrait à l'avenir nidifier dans les murs de sable construits pour les Hirondelles de rivage.
L'Aigrette garzette (*Egretta garzetta*), dont la première nidification en Alsace date de 2005, devrait voir ses effectifs augmenter.

La Sarcelle d'été (*Anas querquedula*), qui ne niche que très occasionnellement dans le secteur, pourrait nidifier plus régulièrement dans la réserve (source : Bertrand Scaar, ornithologue bénévole).

Bouscarle de Cetti

Bruant zizi

Guêpier d'Europe

Sarcelle d'été

Des espèces exotiques sont régulièrement observées dans la réserve, dont certaines pourraient s'installer définitivement. Depuis peu, les Ouettes d'Egypte (*Alopochen aegyptiaca*) sont observées avec des nichées. Le Tadorne Casarca (*Tadorna ferruginea*), la Bernache du Canada (*Branta canadensis*) et le Canard mandarin (*Aix galericulata*) ont déjà été observés à plusieurs reprises dans la réserve mais sans qu'il y ait de nichées pour l'instant. D'autres espèces sont observées plus sporadiquement, comme l'Ibis falcinelle (*Plegadis falcinellus*), mais il s'agit souvent d'individus isolés échappés de captivité.

L'ouette d'Egypte :

Cette espèce originaire d'Afrique a été introduite dans quelques pays d'Europe au 19ème siècle et s'est depuis dispersée dans d'autres pays. L'espèce semble s'être bien implantée en Alsace ces dernières années. Sur le secteur de la réserve, des couples et leurs jeunes sont régulièrement observés. Un des impacts constatés sur la biodiversité locale est que les couples d'ouette vont entrer en compétition avec les ardéidés et les cigognes pour les chasser et entrer en possession des nids préétablis.

Figure 7 : Couple d'ouettes atterrissant sur un nid de cigogne

- Les mammifères :

Certaines espèces de mammifères exotiques sont déjà bien installées dans la réserve depuis des années, comme le Ragondin (*Myocastor coypus*) et le Rat musqué (*Ondatra zibethicus*).
Des Ratons laveurs (*Procyon lotor*) ont déjà été observés à plusieurs reprises, sous forme d'individus isolés. La possibilité d'une reproduction n'est pas à écarter dans le cas où des individus seraient amenés à se croiser.
La Genette commune (*Genetta genetta*), espèce originaire d'Afrique et introduite il y a longtemps en Europe, est aujourd'hui installée dans toute l'Espagne et dans la moitié sud-ouest de la France. Des observations ponctuelles ont déjà été faites dans la moitié nord-est et il n'est pas impossible que les nouvelles conditions climatiques permettent l'installation de cette espèce dans le secteur de la réserve.

En dehors des espèces exotiques, il est peu probable que de nouveaux grands ou moyens mammifères s'installent dans la réserve ; eventuellement dans un contexte de recolonisation, comme par exemple la Loutre européenne (*Lutra lutra*), mais pas en raison du changement climatique.

En revanche, des espèces de micromammifères actuellement cantonnées dans le sud de la France pourraient repousser leur aire de répartition vers le nord, par exemple le Pachyure étrusque (*Suncus etruscus*), le Campagnol amphibie (*Arvicola sapidus*), le Campagnol provençal (*Microtus duodecimcostatus*) et la Souris d'Afrique du Nord (*Mus spretus*) (Aulagnier et al. 2017).

Selon l'étude de Rebelo, Tarroso, and Jones (2010), l'aire de répartition des espèces de chauve-souris européenne pourrait être amenée à changer selon le climat. Sur la réserve, on observe actuellement des espèces des milieux tempérés mais également des espèces à tendance méditerranéenne. Dans le futur, l'aire de répartition des espèces méditerranéennes pourrait recouvrir une bonne partie de l'Europe et amener de nouvelles espèces dans la réserve. Selon l'étude, les espèces faisant partie du groupe biogéographique méditerranéen sont : la Vespère de Savi (*Hypsugo savii*), le Minioptère de Schreibers (*Miniopterus schreibersii*), le Petit murin (*Myotis blythii*), le Murin de Capaccini (*Myotis capaccinii*), le Murin à oreilles échancrées (*Myotis emarginatus*), la Grande Noctule (*Nyctalus lasiopterus*), le Rhinolophe de Blasius (*Rhinolophus blasii*), le Rhinolophe euryale (*Rhinolophus euryale*), le Grand Rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*), le Rhinolophe de Mehely (*Rhinolophus mehelyi*) et le Molosse de Cestoni (*Tadarida teniotis*).

Vespère de Savi

Petit murin

Grande noctule

Molosse de Cestoni

©www.batlife-europe.info

- Les amphibiens :

Le Triton crêté italien (*Triturus carnifex*) est une espèce introduite en Suisse et en France via les transports. Sa présence n'a pas encore été relevée en Alsace mais il est fort probable qu'il finisse par coloniser le secteur et entre en compétition avec le Triton crêté (*Triturus cristatus)* autochtone (Source : Alain Fizesan, Association BUFO).
Des espèces exotiques d'amphibiens comme le Sonneur à ventre de feu *(Bombina bombina)* et la Grenouille

taureau *(Lithobates catesbeianus),* pour l'instant jamais observées dans la réserve mais déjà présentes dans les régions voisines, pourraient faire leur apparition.

- Les reptiles :

En Alsace, la Vipère péliade (*Vipera berus*) et la Vipère aspic (*Vipera aspis*) ont été introduites dans les années 70. Elles sont pour l'instant majoritairement cantonnées au niveau du piémont vosgien, mais en 2020 une vipère a été observée le long du Vieux Rhin. La vipère aspic pourrait éventuellement profiter de l'augmentation de surface des habitats secs pour trouver des conditions de vie adéquates et s'installer dans la réserve.
La Couleuvre verte et jaune (*Hierophis viridiflavus*) et la Couleuvre d'Esculape (*Zamenis longissimus*) sont deux espèces de serpents dont la limite nord de l'aire de répartition est proche de l'Alsace et qui pourraient remonter naturellement (Source : Alain Fizesan, Association BUFO).

Vipère péliade

Vipère aspic

Couleuvre verte et jaune

Couleuvre d'Esculape

La Cistude d'Europe (*Emys orbicularis*), espèce considérée indigène mais disparue d'Alsace, présente quelques individus dans la réserve supposés relâchés de captivité. A priori, les conditions climatiques sont déjà adéquates pour cette espèce et pourraient l'être encore plus dans le futur, menant à l'installation définitive des cistudes.
Sur la réserve, la Tortue de Floride (*Trachemys scripta elegans*) est présente depuis des années à l'état d'un petit nombre d'individus régulièrement observés. De la reproduction naturelle est soupçonnée. Avec le réchauffement et l'absence de prédateurs à l'état adulte, les tortues de Floride pourraient voir leur population augmenter de manière conséquente et entrer en compétition avec les Cistudes.
Parmi les autres espèces de tortues exotiques qui se reproduisent en France, signalées en Alsace mais pas encore dans la réserve, on retrouve : la Graptémyde pseudo-géographique (*Graptemys pseudogeographica*), la Trionyx de Chine (*Pelodiscus sinensis*), la Péloméduse roussâtre (*Pelomedusa subrufa*), la Peudémyde concinne (*Pseudemys concinna)*, la Trachémyde à ventre jaune (*Trachemys scripta scripta*) et *Trachemys scripta troostii*. Les autres espèces également observées en Alsace sont la Pseudémyde de Nelson (*Pseudemys nelsoni*), la Chrysémyde peinte (*Chrysemys picta*), l'Emyde caspienne occidentale (*Mauremys rivulata*), la Tortue d'Hermann (*Testudo hermanni*) et la Tortue grecque (*Testudo graeca*). L'arrivée de ces espèces seraient à surveiller, notamment via des relâchers de tortues captives (BUFO n.d.).

- Les poissons :

Les communautés piscicoles ont déjà été modifiées ces dernières années avec la remontée de certaines espèces par le Rhin et les relâchers d'espèces exotiques, notamment les Gobies, la Perche soleil (*Lepomis gibbosus*), le Pseudorasbora (*Pseudorasbora parva*), l'Amour blanc (*Ctenopharyngodon idella*) et la Truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). D'autres espèces pourraient s'installer. Dans les départements voisins ou en aval de Rhin, on retrouve la Brème du Danube (*Ballerus sapa*) et le Gobie fluviatile (*Neogobio*

fluviatilis). Deux autres espèces remonteront probablement le Rhin dans le futur : le Gobie coureur (*Babka gymnotrachelus*) et le Goujon de l'Amour (*Perccottus glenii*) (CIPR 2015).

- Les invertébrés :

Plusieurs espèces envahissantes d'invertébrés aquatiques ont fait leur apparition ces dernières années. On peut relever notamment l'Ecrevisse américaine (*Orconectes limosus*) déjà bien implantée dans la réserve. Plusieurs autres espèces d'écrevisses exotiques sont présentes dans la région. Il est également probable que plusieurs espèces de mollusques exotiques soient présentes sur le Vieux Rhin, car relevés à divers endroits du Rhin, comme la Corbicule (*Corbicula sp*), la Moule quagga (*Dreissena bugensis*) et la Moule zébrée (*Dreissena bugensis*) (Chretien et al. 2018).

Parmi les Lépidoptères, certaines espèces habituellement migratrices dans la région commencent à y hiberner et réussissent à survivre. Des observations ponctuelles du Vulcain (*Vanessa Atalanta*) et de la Belle-Dame (*Vanessa cardui*) en hiver ont été faites récemment dans la région. On pourrait aussi voir le retour du Flambé (*Iphiclides podalirius*) et du Morio (*Nymphalis antiopa*) mais il est plus probable que les apparitions/disparitions de ces espèces soient dues à des facteurs d'habitats ou à des cycles internes à l'espèce. D'autres espèces font leur apparition car elles suivent leurs plantes hôtes qui sont cultivées par l'homme, comme la Piéride de l'Ibéride (*Pieris mannii*) dans la région et le Sphinx du Laurier rose (*Daphnis nerii*) en Suisse. A priori l'installation de nouvelles espèces ne devrait pas systématiquement faire régresser les espèces locales. Souvent elles dépendent chacune d'une ou de quelques plantes hôtes bien précises et ne rentrent donc pas en compétition.
Dans un futur plus lointain, on peut aussi supposer l'arrivée d'espèces migratrices originaires d'Afrique et qui commencent à remonter dans le sud de la France. Par exemple l'Azurée porte-queue (*Lampides boeticus),* qui a déjà été observé exceptionnellement en Forêt Noire sur une zone à microclimat méditerranéen où se trouvait sa plante hôte, et l'Azuré de la Luzerne (*Leptotès pirithous*). (Source : Jean-Jacques Feldtrauer, entomologiste bénévole).

La Piéride de l'Ibéride

Comme son nom l'indique, cette espèce de lépidoptère a comme plantes hôtes des Ibérides de la famille des Brassicacées. Initialement présente dans le sud de l'Europe, une remontée spectaculaire vers le nord de la Piéride a été constatée ces dernières années. Les conditions climatiques plus clémentes et l'utilisation courante des ibérides comme plantes ornementales dans les jardins ont permis à la piéride de coloniser de nouveaux territoires. Pour l'instant, l'espèce reste cantonnée aux parcs et jardins dans sa nouvelle aire de répartition, en compagnie de sa plante hôte.

De nombreuses espèces d'insectes exotiques arrivent ces dernières années. Sur la réserve, on peut noter l'installation de la Coccinelle asiatique *(Harmonia axyridis*), la Punaise diabolique (*Halyomorpha halys*), la Punaise occidentale des cônes (*Leptoglossus occidentalis*) et le Moustique tigre (*Aedes (Stegomyia)*

albopictus) dans l'agglomération adjacente. De nombreuses autres espèces sont relevées de plus en plus régulièrement dans la région et pourraient se répandre (Brua and Callot 2014).

- Les espèces végétales :

Les espèces déjà présentes et qui pourraient profiter d'un climat plus chaud sont : le Chiendent pied-de-poule (*Cynodon dactylon*), le Lis d'un jour (*Hemerocallis fulva*), le Plantain corne de cerf (*Plantago coronopus subsp coronopus*), la Potentille droite (*Potentilla recta*), le Rosier rugueux (*Rosa rugosa*) et la Sauge verticillée (*Salvia verticillata*). L'année dernière, deux nouvelles espèces à exigence thermique élevée ont été observées près de la réserve : la Sporobole tenace (*Sporobolus indicus*) et la Sporobole engainé (*Sporobolus vaginiflorus*) (Source : Heiner Lenzin, botaniste bénévole).
De nombreuses espèces exotiques envahissantes sont également présentes et installées dans la réserve, mais pour la plupart introduites accidentellement par l'homme : Solidage du Canada (*Solidago Canadensis*), Robinier Faux-acacia (*Robinia pseudoacacia*), Balsamine de l'Hymalaya (*Impatiens glandulifera*), Renouée du Japon (*Reynoutria japonica*), Séneçon du Cap (*Senecio inaequidens*), etc. Le changement climatique pourrait offrir des opportunités à ces espèces et offrir des conditions favorables à de nouvelles espèces exotiques.

CONCLUSION

La méthodologie du projet Natur'Adapt a permis de constituer une solide base de connaissances, aussi bien sur le climat et le changement climatique que sur les impacts qui en résultent pour la biodiversité. L'écriture du récit prospectif a ensuite permis de tracer dans les grandes tendances comment pourraient évoluer la réserve, ses habitats, ses espèces et les activités qui tournent autour. Un des objectifs est que cette base de données ne reste pas figée et soit progressivement complétée dans le futur, au fur et à mesures des observations faites sur la réserve ou par l'acquisition de connaissances sur de nouvelles thématiques, et soit partagée aux acteurs locaux ou à d'autres gestionnaires d'espaces naturels.
En complétement, la démarche d'analyse des pressions a aussi permis de flécher certains acteurs locaux avec qui la mise en place ou le renforcement d'une coopération se révèlera d'autant plus important pour favoriser la résilience des espaces naturels.
Toutes ces informations vont servir de base à l'écriture du plan d'adaptation de la réserve, disponible dans un second document.

LISTE DES ACRONYMES

CC = Changement climatique

DVO = Diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité

EEE = Espèce exotique envahissante

GIEC = Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (aussi appelé IPCC en anglais pour Intergovernmental Panel on Climate Change)

IFM = Indice Forêt Météo

PCAET = Plan climat air énergie territorial

RCP = Representative Concentration Pathway

RNN = Réserve naturelle nationale

GLOSSAIRE

Aire de répartition
zone délimitant la répartition géographique d'une espèce vivante, elle peut-être continue ou disjointe.

Bloom algal
augmentation rapide de la concentration d'une ou plusieurs espèces d'algues, généralement du phytoplancton, de bactéries ou de cyanobactéries dans un écosystème aquatique. Selon l'espèce qui prolifère, un bloom algal peut entrainer une très forte consommation de l'oxygène et/ou une émission de molécules toxiques dans le milieu causant une mortalité de la faune et de la flore aquatique.

Capacité d'adaptation intrinsèque
qualité intrinsèque qui permet à un système humain ou naturel de réduire les effets négatifs et/ou de tirer parti des effets positifs du changement climatique.

Climat continental
concerne les régions des latitudes moyennes éloignées du littoral, caractérisé par une forte amplitude thermique sur l'année et par des cumuls de précipitations plus réduits que le long du littoral.

Climat océanique
caractérisé par des hivers doux et humides, des étés frais, une amplitude thermique faible sur l'année et des précipitations abondantes.

Diversité ou richesse spécifique
nombre d'espèces présentes dans un milieu donné.

Espèce allochtone (= exogène)
une espèce sera dite « allochtone » dans une entité biogéographique, si elle ne se reproduisait pas dans ces milieux au début de l'Holocène, mais qu'elle y constitue aujourd'hui des populations pérennes se reproduisant sans l'aide directe de l'Homme. La plupart des espèces allochtones ont été introduites par l'Homme. Une espèce allochtone n'est pas forcément considérée comme une espèce exotique envahissante.

Espèce exotique envahissante
espèce exotique, dite aussi allochtone ou non indigène, dont l'introduction par l'homme, volontaire ou fortuite, sur un territoire menace les écosystèmes, les habitats naturels ou les espèces indigènes avec des conséquences écologiques, économiques et sanitaires négatives. Le danger de ces espèces est qu'elles accaparent une part trop importante des ressources dont les espèces indigènes ont besoin pour survivre, ou qu'elles se nourrissent directement des espèces indigènes.

Espèce ligneuse
végétal qui fabrique de la lignine en grande quantité, l'un des constituants essentiels du bois avec la cellulose. Les espèces ligneuses sont les arbres, arbustes, arbrisseaux et certaines lianes.

Etiage
niveau moyen le plus bas d'un cours d'eau.

Eutrophisation
processus d'accumulation des nutriments dans un écosystème donné, qui concerne principalement l'azote

et le phosphore, et se traduit par une modification progressive des équilibres biologiques de l'écosystème concerné. Le processus, accentué par le réchauffement climatique, favorise en effet les espèces (végétales et animales) à croissance rapide au détriment des espèces à croissance plus lente. En milieu aquatique il peut même provoquer une anoxie fatale pour la plupart des espèces.

Exposition
nature, degré et fréquence des variations climatiques (et leurs « conséquences physiques ») susceptibles d'être subies par les systèmes humains ou naturels.

Habitat mésique
se satisfait de conditions moyennes de température et d'humidité des sols, lesquels ne doivent être ni trop secs ni trop humides.

Habitat xérique
caractérisé par une forte sécheresse.

Modèle climatique
modélisation mathématique qui simule les interactions entre l'atmosphère, l'océan et les surfaces continentales pour obtenir les évolutions possibles du climat terrestre.

Phénologie
étude de l'apparition d'événements périodiques dans le monde vivant, déterminée par les variations saisonnières du climat, exemples : émergence, reproduction, migration.

Plantes hôtes
plantes auxquelles sont liées certaines espèces d'insectes qui viennent pondre leurs œufs uniquement sur celles-ci et dont les larves se nourrissent.

Pression non climatique
pression anthropique ou naturelle qui peut influer, en négatif ou en positif, sur sa capacité intrinsèque d'adaptation ou sa pérennité (ex : fragmentation des milieux, pollutions, activités sportives et touristiques, exploitation des ressources naturelles, espèces exotiques envahissantes…).

Régime glaciaire
régime hydrologique caractérisé par des basses eaux en hiver et des débits importants en été corrélés à la fonte des glaces.

Régime nivo-glaciaire
régime hydrologique caractérisé par des basses eaux en hiver, des débits importants liés à la fonte des neiges à la fin du printemps et à la fonte des glaces en été.

Ripisylve
ensemble des formations boisées (arbres, arbustes, buissons) qui se trouvent aux abords d'un cours d'eau.

Scénario climatique
hypothèses sur l'évolution de la démographie mondiale et des modes de vie à travers la planète pour simuler les émissions futures de gaz à effet de serre. Les scénarios les plus récents sont les scénarios RCP établis par le GIEC.

Sensibilité intrinsèque
propension intrinsèque d'un système humain ou naturel à être affecté favorablement ou défavorablement par des variations climatiques (et leurs « conséquences physiques »).

BIBLIOGRAPHIE

Anon. 2019. “Invasive Species Compendium : Robinia Pseudoacacia (Black Locust).” Retrieved (https://www.cabi.org/isc/datasheet/47698).

Anon. 2020. “Conservatoire Botanique National Bassin Parisien. Espèce Végétale : Dianthus Superbus L., 1755.” Retrieved (http://cbnbp.mnhn.fr/cbnbp/especeAction.do?action=fiche&cdNom=94833).

Basto, Sofía, Ken Thompson, J. Philip Grime, Jason D. Fridley, Sara Calhim, Andrew P. Askew, and Mark Rees. 2018. “Severe Effects of Long-Term Drought on Calcareous Grassland Seed Banks.” *Climate and Atmospheric Science* 1(1):1–7.

Cao, Yusong, Yian Xiao, Sisi Zhang, and Wenhai Hu. 2018. “Simulated Warming Enhances Biological Invasion of Solidago Canadensis and Bidens Frondosa by Increasing Reproductive Investment and Altering Flowering Phenology Pattern.” *Scientific Reports* 8(1):1–8.

Carey, P. D. 2015. *Biodiversity Climate Change Impacts Report Card Technical Paper 5. Impacts of Climate Change on Terrestrial Habitats and Vegetation*. Vol. 44.

Chase, Larry E. 2007. “Climate Change Impacts on Dairy Cattle (USA).” *Climate Change and Agriculture: Promoting Practical and Profitable Responses* 17–23.

CIPR. 2011. *Etude de Scénarios Sur Le Régime Hydrologique Du Rhin*.

CIPR. 2013. *Etat Des Connaissances Sur Les Éventuelles Répercussions de Modifications Du Régime Hydrologique et de La Température de l’eau Sur l’écosystème Du Rhin et Actions Envisageables*.

CIPR. 2014. “Estimations Des Conséquences Du Changement Climatique Sur l’évolution Future Des Températures de l‘eau Du Rhin Sur La Base de Scénarios Climatiques Rapport Succinct.”

Copernicus. n.d. “SWICCA | Service for Water Indicators in Climate Change Adaptation.” Retrieved October 23, 2019 (https://swicca.eu/).

Craine, Joseph M., Troy W. Ocheltree, Jesse B. Nippert, E. Gene Towne, Adam M. Skibbe, Steven W. Kembel, and Joseph E. Fargione. 2013. “Global Diversity of Drought Tolerance and Grassland Climate-Change Resilience.” *Nature Climate Change* 3(1):63–67.

Dehédin, Arnaud. 2014. “Changements Globaux et Assèchement Des Zones Humides Fluviales : Conséquences Sur Les Processus Biogéochimiques et Les Communautés d’invertébrés.” Université Claude Bernard - Lyon I.

Delerue, Marie. 2019. “Equipedia - Les Maux de l’été.” Retrieved July 20, 2020 (https://equipedia.ifce.fr/sante-et-bien-etre-animal/maladies/autres-maladies/les-maux-de-lete).

Doroftei M., Mierla M., Petras-Sackl T., Menegalija T., Marolt. 2012. “HABIT-CHANGE Management Practices for Invasive Species in Danube Delta Biosphere Reserve (Romania) and Triglav National Park (Slovenia).” *Habit-Change Repport* 1(3):116.

EauFrance. n.d. “Système d’Information Sur l’Eau Rhin-Meuse.” Retrieved September 30, 2019 (http://rhin-meuse.eaufrance.fr/).

Ebeling, Susan and Nita G. Tallent-Halsell. 2009. “Invasive Species Compendium : Buddleja Davidii (Butterfly Bush).” Retrieved (https://www.cabi.org/isc/datasheet/10314).

Edwards, François K., Roger Baker, Michael Dunbar, and Cedric Laizé. 2010. *Review on Processes and Effects of Droughts and Summer Floods in Rivers and Threats Due to Climate Change on Current Adaptive Management Strategies*.

Ferrez, Yorick and Thierry Lacombe. 2017. “Les Vignes Sauvages Colluviales Vitis Vinifera Subsp. Sylvestris (Gmelin) Hegi Dans Le Massif Jurassien, Nouvelles Données.” 113–46.

Fisichelli, Nicholas A., Gregor W. Schuurman, William B. Monahan, and Pamela S. Ziesler. 2015. “Protected Area Tourism in a Changing Climate: Will Visitation at US National Parks Warm up or Overheat?” *PLoS ONE* 10(6):1–13.

Genoux, Nelly, Laetitia Marnay, Marie Delerue, and James Etiemble. 2020. “Equipédia - Maux de l’hiver : Vigilance Accrue !” Retrieved July 20, 2020 (https://equipedia.ifce.fr/sante-et-bien-etre-animal/maladies/autres-maladies/maux-de-l-hiver-vigilance-accrue).

GREC-SUD. n.d. “Le Changement Climatique Est-Il Propice Au Développement Des Moustiques ?” Retrieved July 20, 2020 (http://www.grec-sud.fr/article-cahier/articles-du-cahier-mer-et-littoral/les-effets-du-changement-climatique-sur-la-biodiversite-et-le-risque-sanitaire/le-changement-climatique-est-il-propice-au-developpement-des-moustiques/).

Heger, Tina. 2014. “Invasive Species Compendium : Senecio Inaequidens (South African Ragwort).” Retrieved (https://www.cabi.org/isc/datasheet/49557).

Henle, Klaus, Daniela Dick, Alexander Harpke, Ingolf Kühn, Oliver Schweiger, and Josef Settele. 2008. *Climate Change Impacts on European Amphibians and Reptiles*.

InfoClimat. 2020. “Normales et Records Climatologiques 1981-2010 à Bâle-Mulhouse - Infoclimat.” Retrieved September 30, 2019 (https://www.infoclimat.fr/climatologie/normales-records/1981-2010/bale-mulhouse/valeurs/07299.html).

Inserm. 2015. “Quels Impacts Du Changement Climatique Sur Notre Santé ?”

International, BirdLife. 2015. *European Red List of Birds : Ixobrychus Minutus*.

Jonsson, Bror and Nina Jonsson. 2009. “A Review of the Likely Effects of Climate Change on Anadromous Atlantic Salmon Salmo Salar and Brown Trout Salmo Trutta , with Particular Reference to Water Temperature and Flow.” *Journal of Fish Biology* (December).

Joyce, Chris B., Matthew Simpson, and Michelle Casanova. 2016. “Future Wet Grasslands: Ecological Implications of Climate Change.” *Ecosystem Health and Sustainability* 2(9):1–15.

Kieffer, Jean-Claude, Philippe Genot, and Philipp Graser. 2013. *Plan d’action “Forêts Alluviales.”*

Kleinbauer, I., S. Dullinger, J. Peterseil, and F. Essl. 2010. “Climate Change Might Drive the Invasive Tree Robinia Pseudacacia into Nature Reserves and Endangered Habitats.” *Biological Conservation* 143(2):382–90.

Lecluse, Simon. 2014. “Modélisation de l’influence Du Changement Climatique Sur La Nappe Phréatique Du Rhin Supérieur.”

Maalouf, Jean Paul, Yoann Le Bagousse-Pinguet, Lilian Marchand, Emilie Bâchelier, Blaise Touzard, and Richard Michalet. 2012. “Integrating Climate Change into Calcareous Grassland Management.” *Journal of Applied Ecology* 49(4):795–802.

Météo-France. n.d. “Drias, Les Futurs Du Climat - Accueil.” Retrieved October 23, 2019a (http://www.drias-climat.fr/).

Météo-France. n.d. “Les Tempêtes et Le Changement Climatique - Tempêtes En France Métropolitaine.” Retrieved October 9, 2019b (http://tempetes.meteo.fr/spip.php?article197).

MétéoFrance. n.d. “ClimatHD : Le Climat Passé et Futur En France.” Retrieved September 30, 2019 (http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd).

Ministère de l’Ecologie, du Développement Durable et de l’Energie. 2012. “Etude Explore 2070 : Vulnérabilité Des Milieux Aquatiques et de Leurs Écosystèmes : Etude de La Répartition Des Poissons d’eau Douce.” 81.

Ministère de l’Ecologie du Développement Durable et de l’Energie. 2012. “Vulnérabilité Des Milieux Aquatiques et de Leurs Écosystèmes - Etude Des Zones Humides.”

MNHN", "Service du patrimoine naturel du and ONEMA. 2015a. *Fiches d’information Sur Les Espèces Aquatiques Protégées : Cuivré Des Marais, Lycaena Dispar (Haworth, 1802)*.

MNHN", "Service du patrimoine naturel du and ONEMA. 2015b. *Fiches d'information Sur Les Espèces Aquatiques Protégées : Tritons Crêté, Triturus Cristatus (Laurenti, 1768)*.

Monty, Arnaud. 2016. "Centre de Ressources Espèces Exotiques Envahissantes : Senecio Inaequidens." Retrieved (http://especes-exotiques-envahissantes.fr/espece/senecio-inaequidens/#1460369323727-af42a43e-c75b).

Moss, Brian. 2015. "Biodiversity Climate Change Impacts Report Card Technical Paper 17. Freshwaters , Climate Change and UK Conservation." 1–63.

Nadal-Sala, Daniel, Florian Hartig, Carlos A. Gracia, and Santiago Sabaté. 2019. "Global Warming Likely to Enhance Black Locust (Robinia Pseudoacacia L.) Growth in a Mediterranean Riparian Forest." *Forest Ecology and Management* 449(April):117448.

NaturalEngland and RSPB. 2014. *Climate Change Adaptation Manual - Evidence to Support Nature Conservation in a Changing Climate*.

ONCFS. 2019. "Le Sanglier (Sus Scrofa)." Retrieved (http://www.oncfs.gouv.fr/Connaitre-les-especes-ru73/Le-Sanglier-ar994).

Popay, Ian and Chris Parker. 2019. "Invasive Species Compendium : Solidago Canadensis (Canadian Goldenrod)." Retrieved (https://www.cabi.org/isc/datasheet/50599#tosummaryOfInvasiveness).

Rivaes, Rui P., Patricia M. Rodríguez-González, Maria Teresa Ferreira, António N. Pinheiro, Emilio Politti, Gregory Egger, Alicia García-Arias, and Felix Francés. 2014. "Modeling the Evolution of Riparian Woodlands Facing Climate Change in Three European Rivers with Contrasting Flow Regimes." *PLoS ONE* 9(10).

Seif, Johnson, and Lippincott. 1979. "The Effets of Heat Exposure on Zebu and Scottish Highland Cattle." 23(1):9–14.

Settele, Josef, Otakar Kudrna, Alexander Harpke, Ingolf Kuhn, Chris van Swaay, and Rudi Verovnik. 2008. *Climatic Risk Atlas of European Butterflies*. Pensoft Publishers.

Shaw, Dick. 2019. "Invasive Species Compendium : Fallopia Japonica (Japanese Knotweed)." Retrieved (https://www.cabi.org/isc/datasheet/23875).

Tallent-Halsell, Nita G. and Michael S. Watt. 2009. "The Invasive Buddleja Davidii (Butterfly Bush)." *Botanical Review* 75(3):292–325.

Thierion, Charlotte. 2012. "Modélisation Du Fonctionnement de l'aquifère Alluvial Du Fossé Rhénan Supérieur, Vulnérabilité Sous l'impact Du Changement Climatique." Ecole nationale supérieure des mines de Paris.

Val'hor. 2017. "Senecio Inaequidens DC." *Code de Conduite Plantes Envahissantes*.

Vetter, Sebastian G., Thomas Ruf, Claudia Bieber, and Walter Arnold. 2015. "The Burst of Wild Boar Populations in Europe : How Local Adaptation Mediates the Effects of Climate Change in a Widespread Ungulate." *PLoS ONE* 10(7).

Wang, Dan, Scott A. Heckathorn, Kumar Mainali, and Rajan Tripathee. 2016. "Timing Effects of Heat-Stress on Plant Ecophysiological Characteristics and Growth." *Frontiers in Plant Science* 7(NOVEMBER2016):1–11.

Wheeler, B. D., David J. G. Gowing, J. Owen Mountford, and R. P. Money. 2004. "Protecting and Enhancing Wetlands Ecohydrological Guidelines for Lowland Wetland Plant Communities." *Environmental Agency Report* (December).

Windfinder. n.d. "Statistiques de Vent et Météo Aéroport de Bâle-Mulhouse - Windfinder." Retrieved October 13, 2020 (https://fr.windfinder.com/windstatistics/bale-mulhouse).

naturadapt.com

Le projet LIFE Natur'Adapt vise à intégrer les enjeux du changement climatique dans la gestion des espaces naturels protégés européens. Coordonné par Réserves Naturelles de France, il s'appuie sur un processus d'apprentissage collectif sur 5 ans (2018-2023), autour de trois axes :

- L'élaboration d'outils et de méthodes opérationnels à destination des gestionnaires d'espaces naturels, notamment pour élaborer un diagnostic de vulnérabilité au changement climatique et un plan d'adaptation ;
- Le développement et l'animation d'une communauté transdisciplinaire autour des espaces naturels et du changement climatique ;
- L'activation de tous les leviers (institutionnels, financiers, sensibilisation…) nécessaires pour la mise en œuvre concrète de l'adaptation.

Les différents outils et méthodes sont expérimentés sur six réserves partenaires du projet, puis seront revus et testés sur 15 autres sites avant d'être déployés aux échelles nationale et européenne.

Coordinateur du projet

Contact : naturadapt-rnf@espaces-naturels.fr / 03.80.48.91.00

Partenaires engagés dans le projet

Financeurs du projet

The Natur'Adapt project has received funding from the LIFE Programme of the European Union

ANNEXE

Projet LIFE Natur'Adapt

Annexe

-

Fiches objet

Réserve Naturelle
PETITE CAMARGUE ALSACIENNE

Petite Camargue Alsacienne

LIFE NATUR' ADAPT

Auteurs

SCHLOESSER Daphné

Notes

Ce document rassemble les fiches d'informations qui ont été réalisées pour les objet analysés dans le cadre du diagnostic de vulnérabilités et d'opportunités. Dans chaque fiche se trouve une description rapide de l'objet, les facteurs climatiques influençant l'objet et leurs impacts, les capacités d'adaptation, les pressions non climatiques, l'évolution attendue de l'objet, les solutions d'adaptation et la bibliographie utilisée.

Le contenu de ces fiches n'est pas exhaustif. De plus, les évolutions attendues des objets du patrimoine naturel sont majoritairement des interprétations personnelles extrapolées sur la base des informations trouvées dans la bibliographie. Les contenus sur les outils et moyens de gestion sont eux issus de réflexions en interne de la réserve. Les informations contenues dans ces fiches sont donc à manipuler en conséquence.

Table des matières

Habitat naturel : Eaux courantes 4
Habitat naturel : Eaux douces stagnantes 9
Habitat naturel : Tourbières et marais 12
Habitat naturel : Prairies humides et mégaphorbiaies 15
Habitat naturel : Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides 18
Habitat naturel : Steppes et prairies calcaires 22
Habitat naturel : Prairies mésophiles 24
Habitat naturel : Landes et fruticées 26
Habitat naturel : Communautés associées aux cultures 28
Espèce patrimoniale : Saumon Atlantique (*Salmo salar*) 29
Espèce patrimoniale : Triton crêté (*Triturus cristatus*) 31
Espèce patrimoniale : Vigne sauvage (*Vitis vinifera L. subsp. sylvestris*) 33
Espèce patrimoniale : Cuivré des marais (*Lycaena dispar*) 35
Espèce patrimoniale : Œillet superbe (*Dianthus superbus L*) 37
Espèce patrimoniale : Blongios nain (*Ixobrychus minutus*) 38
Fiche transversale : Mesures d'adaptation pour les espèces animales 40
Espèce régulée : Sanglier d'Europe (*Sus scrofa*) 42

EEE : Séneçon du cap (*Senecio inaequidens*) 44
EEE : Arbre à papillons (*Buddleja davidii*) 46
EEE : Robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia*) 48
EEE : Solidage du Canada (*Solidago canadensis*) 50
EEE : Renouée du Japon (*Fallopia japonica*) 52
Outils et moyens de gestion : Bétail 54
Outils et moyens de gestion : Pâturage naturel 57
Outils et moyens de gestion : Fauche mécanique des prairies et pelouses 59
Outils et moyens de gestion : Gestion des niveaux d'eau au cœur de la réserve 61
Outils et moyens de gestion : Non intervention sur les milieux forestiers 63
Outils et moyens de gestion / Pression non climatique : Lutte contre les espèces végétales invasives 64
Outils et moyens de gestion : Régulation des sangliers 66
Outils et moyens de gestion : Démoustication 68
Outils et moyens de gestion : Moyens humains 70
Outils et moyens de gestion : Suivis scientifiques 72
Outils et moyens de gestion : Infrastructures 74
Activités socio-économiques / Pression non climatique : Activités touristiques et de loisirs 76
Pression non climatique : Activités aquatiques sur le Vieux Rhin 79
Pression non climatique : La pêche 80
Pression non climatique : L'agriculture 81
Pression non climatique : Production d'énergie hydroélectrique 83
Pression non climatique : L'urbanisation 84
Pression non climatique : Les EEE animales 86
Fiche annexe : Les mammifères 87
Fiche annexe : Les oiseaux 89
Fiche annexe : Les poissons 91
Fiche annexe : Les amphibiens 93
Fiche annexe : Les reptiles 94
Fiche annexe : Les invertébrés 95

Habitat naturel : Eaux courantes

Description des associations végétales

Classe des *Potametea pectinati* **:** végétation aquatique pérenne enracinée des eaux mésotrophes à eutrophes.
- *Nymphaeion albae* : *Myriophyllo-Nupharetum* (groupement thermophile d'eaux calmes, humifères, mésotrophes à faible battement de niveau d'eau) et *Nymphaeetum albae* (bras mort déconnectés du Rhin à courant très lent ou nul, alimentés par la nappe phréatique, avec substrat vaseux oligotrophe). Espèces enracinées submergées et à feuilles flottantes. Tendance à l'envahissement par Phragmites australis ou par Carex lorsqu'il y a un envasement et un faible battement de nappe.
- *Batrachion fluitantis* : *Callitrichetum obtusangulae* (eaux moyennement riches en nutriments qui se réchauffent en été, courant nul à modéré, eau limpide avec substrat limono-vaseux alimenté par nappe phréatique) et *Potametum nodosi* (eaux calmes à courantes eutrophes à hypereutrophes).
- *Potamion pectinati* : bras du Rhin avec eaux calmes à faiblement courantes, voire courantes, avec substrat vaseux à limoneux. *Nadajetum marina*e (plan d'eau, étangs ou faciès calme en cours d'eau, eaux méso à eutrophes, substrat vaseux), *Zannichellietum palustris* (eaux courantes ou calmes, limpides, eutrophes à hypertrophes), *Elodeetum canadensis/Eloda nuttallii* (espèces exotiques, eaux stagnantes à courantes mésotrophes à eutrophes), *Caretophylletum demersi* (plans d'eau situés en zone inondable).
- Algues filamenteuses : Vieux-Rhin et mares au milieu des phragmitaies.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température de l'air et de l'eau	↗	- Déclin des espèces d'eau fraiches : plantes, invertébrés et poissons. - Baisse du taux d'oxygène - Stress thermique pour les organismes sensibles -/+ Arrivée de nouvelles espèces et d'espèces exotiques - Décalage de la phénologie pouvant impacter le haut de la chaîne alimentaire + Période de croissance plus longue pour la végétation et augmentation de la biomasse - Augmentation de l'activité microbienne avec l'augmentation de la matière organique induisant une consommation plus forte d'oxygène
Eté secs Sécheresses	↗	- Réduction de la surface des habitats - Réduction des débits estivaux, accentuant l'effet de la hausse des températures - Concentration des polluants/nutriments - Accumulation de la matière organique avec la réduction du courant - Colmatage du fond du cours d'eau par les sédiments - Mort de la végétation aquatique sessile qui se retrouve exposée à l'air libre - Disparition des espèces rhéophiles - Concentration de la faune sur des zones refuges pouvant entrainer une compétition inter et intraspécifique - Blocage/ralentissement de la migration pour certaines espèces - Réduction de la richesse spécifique si des habitats disparaissent + Augmentation de la surface de bancs graveleux, favorable à la nidification des oiseaux comme le petit gravelot et le chevalier guignette, et comme biotope d'alimentation pour les carabidés et arachnides.
Précipitations hivernales	↗	+ Recharge en eau du milieu + Augmentation temporaire de la surface d'habitat et amélioration de la connectivité -/+ Augmentation des débits hivernaux, impacts positifs ou négatifs selon les organismes - Ruissellements polluants depuis les zones urbaines et agricoles

Pluies torrentielles Tempêtes	↗	-/+ Augmentation de l'érosion avec mise en suspension de sédiments et de nutriments pouvant causer une eutrophisation mais qui permet aussi de recharger le Vieux Rhin en matériel sédimentaire -/+ Augmentation de la fréquence des crues éclairs
Fréquence des crues	↗	-/+ Destruction des habitats avec l'arrachement des macrophytes et rajeunissement par un retour au stade pionnier de la végétation, positif ou négatif selon les enjeux et objectifs de gestion - Migration forcée pour de nombreux organismes + Dispersion des fragments de macrophytes et des graines, positif pour la diversité génétique - Dispersion des espèces invasives + Augmentation de l'érosion - Effet négatif du retournement du substrat pour les organismes enterrés + Effet positif de la mise en suspension du substrat pour les organismes filtreurs + Transport de matériel sédimentaire

Les capacités d'adaptation

- La migration des espèces est facilitée par le courant, les connexions entre les populations et la colonisation de nouveaux territoires peuvent alors se faire plus facilement.
- L'ombrage de la végétation rivulaire et les exfiltrations phréatiques créent des zones refuges pour les espèces d'eau fraiche.
- Les organismes mobiles peuvent décaler leur aire de répartition vers l'amont pour compenser la hausse de la température de l'eau.
- De nombreux organismes aquatiques possèdent des formes de résistance aux sécheresses : graines, propagules, œufs, kystes, etc.
- Bonne résistance aux sécheresses des nématodes, turbellariés, oligochètes, coléoptère et larves de diptères.

Les pressions non climatiques

- Production d'énergie hydroélectrique : rupture de la continuité écologique avec les barrages.
- Urbanisation : artificialisation des berges, rupture de la continuité écologique avec les barrages et autres ouvrages, pompage et dérivation de l'eau, apport en polluants et nutriments via les rejets et le ruissellement, rejets thermiques.
- Agriculture : pompage et dérivation de l'eau, apport en polluants et nutriments via les rejets et le ruissellement.
- Activités aquatiques : dérangement du substrat, dérangement de la faune et de la flore.
- Pêche : dérangement du substrat avec la pêche à la mouche, dérangement de la faune et de la flore.
- Espèces exotiques envahissantes : compétition avec les espèces locales.

Résultat du DVO	Vulnérabilité très forte

Evolution attendue des milieux en l'absence de mesures d'adaptation

Les milieux aquatiques subiront deux tendances inverses : une hausse des débits et des niveaux d'eau en hiver et une baisse en été qui seront probablement en faveur de l'installation d'une végétation hygrophile généraliste sur la zone de battement des eaux, en replacement de la végétation aquatique pérenne. Une végétation annuelle au cycle de vie rapide pourrait aussi se mettre en place car ces populations seront plus aptes à persister face aux aléas climatiques. Un autre facteur important de la composition spécifique des milieux aquatiques est la température : avec la hausse

attendue les espèces d'eau fraiche seront amenées à régresser, voire à disparaitre. Une dégradation de la qualité de l'eau avec une baisse du taux d'oxygène et une eutrophisation sont également à prévoir, accentuée par les sécheresses et les canicules et menant à la régression des espèces sensibles à la qualité du milieu et à l'installation d'espèces plus généralistes. Le risque existe que des zones anoxiques se forment, défavorables à toutes formes de vie aquatique. Les crues plus fréquentes pourraient empêcher l'installation du stade climax de la végétation aquatique avec un rajeunissement des communautés et l'installation de plantes annuelles au cycle de développement plus rapide. La hausse des débits hivernaux pourrait temporairement agrandir les écosystèmes d'eau courante et permettre des connexions avec des milieux aquatiques annexes ou favoriser le développement de milieux humides. Mais ces annexes se retrouveront ensuite isolées avec la baisse des débits estivaux.

- **Le Vieux Rhin** : les communautés piscicoles salmonicoles évolueront vers des communautés cyprinicoles qui pourraient devenir dominantes. Le débit accordé sera au minimum en période estivale, accentuant alors l'effet de la hausse de la température accompagnée d'une baisse du taux d'oxygène et de la qualité de l'eau. Les crues plus fréquentes causeront un rajeunissement régulier des écosystèmes, dont les saulaies, et favoriseront l'érosion des berges et le transport de matériel sédimentaire en faveur d'une plus grande diversité d'habitats. Des annexes du lit mineur pourraient se remettre en eau avec la hausse des débits hivernaux et des crues, mais uniquement de manière temporaire (CIPR 2013).
- **Le Petit Rhin :** le secteur en eau dans la zone renaturée devrait rester relativement stable, avec tout de même une modification des communautés végétales et animales liée à la hausse de la température de l'eau. En revanche le secteur forestier, dont l'alimentation en eau est déjà insuffisante aujourd'hui, pourrait souffrir du changement climatique avec une hausse des pertes en eau par évaporation et évapotranspiration, ainsi que par un drainage plus régulier par la nappe avec la hausse de la fréquence des crues sur le Vieux Rhin, empêchant l'installation d'une forêt alluviale humide fonctionnelle.
- **L'Augraben :** ce cours d'eau étant alimenté par la nappe et par les précipitations, il sera particulièrement marqué par une hausse des débits et des débordements durant les hivers pluvieux et par une baisse des débits avec une concentration des polluants, voire un risque d'assèchement, durant la période estivale. Les épisodes orageux pourront causer des crues éclair mais avec une eau particulièrement dégradée par le rinçage des zones urbaines et agricoles en amont. La végétation aquatique actuelle est déjà peu développée et peu diversifiée et il est probable que cette tendance persiste dans le futur, également au détriment du développement de la faune aquatique.

Pistes d'adaptation envisagées par la Petite Camargue Alsacienne

- **Le Vieux Rhin :**

→ Lors du prochain renouvellement de la concession hydroélectrique, s'accorder avec EDF et l'Etat pour une modification des débits réservés :

- Réfléchir à une modification de la formule de calcul des débits réservés si l'on souhaite suivre la modification du régime nivo-glaciaire du Rhin vers un régime nival ;
- Solliciter une capacité d'adaptation des débits pour sortir du cadre strict de la formule et répondre aux aléas climatiques, par exemple pour une augmentation des débits en période caniculaire pour réduire la hausse de la température de l'eau (pour des effets plus en aval de la réserve).

→ Favoriser la résilience des écosystèmes en poursuivant leur restauration :

- Restaurer les anciens chenaux de crue entaillant la zone d'épis pour favoriser les suintements phréatiques et créer des zones refuges ;
- Dérocher les berges et élargir le cours d'eau sur les secteurs de radier pour favoriser les dépôts sédimentaires qui formeront des bancs et créeront des exfiltrations phréatiques ;
- Poursuivre la réinjection de matériel sédimentaire pour alimenter les radiers ;
- Créer des bancs pour former des chenaux secondaires à l'aide d'épis artificiels (si possible favoriser des méthodes plus naturelles) ;

- Introduire du bois morts dans le cours d'eau pour diversifier les habitats et favoriser l'accumulation de gravier.

→ **Renforcer le rôle d'espèces parapluie des salmonidés :**

- Trouver des organismes partenaires pour réaliser une cartographie thermique actuelle du Vieux Rhin, permettant aussi de cibler des zones refuges à restaurer, et modéliser une cartographie future ;
- Présenter le Vieux Rhin comme une ultime zone refuge pour les salmonidés lorsque les affluents seront à sec en période estivale pour justifier de l'importance des actions de restauration.

→ **Soutenir la continuité écologique :**

- Participer à des programmes nationaux/internationaux de renaturation et d'amélioration de la continuité écologique sur le Rhin ;
- Participer comme partenaire à des programmes régionaux de renaturation et d'amélioration de la continuité écologique sur les affluents du Rhin.

- **Le Petit Rhin :**

→ **Modifier le débit réservé en accord avec EDF et l'Etat, si possible avant la date de renouvellement de la concession hydroélectrique :**

- Demander à ce que le débit réservé actuel de 7 m^3/s soit augmenté pour répondre aux objectifs écologiques définis au début du projet ;
- Discuter avec EDF de ce qu'il est techniquement possible de faire ou non au niveau de la prise d'eau sur le canal pour créer une variation des débits ;
- Idéalement et selon la réponse au point précédent, demander à créer une variation sur l'année du débit réservé en se calant sur le régime du Rhin pour assurer une dynamique plus naturelle au cours d'eau ;
- Trouver les modalités permettant d'obtenir une flexibilité dans l'ajustement des débits pour pouvoir faire des corrections selon la réponse des écosystèmes et selon les aléas climatiques sans avoir à attendre le prochain renouvellement de la concession.

→ **Améliorer l'alimentation en eau du secteur de forêt alluviale en cours de restauration :**

- Modifier la diffluence au niveau de l'exutoire intermédiaire vers le Vieux Rhin pour envoyer plus d'eau vers le secteur forestier ;
- Selon ce qu'il est techniquement possible de faire pour EDF, demander à profiter des crues pour augmenter temporairement le débit du Petit Rhin et ainsi compenser les pertes causées par l'effet de drainage du Vieux Rhin et par la fermeture des passes à poissons par EDF ;
- *Dans un futur plus lointain, mesure en dernier recours mais défavorable aux écosystèmes d'eau courante : si une augmentation du débit du Petit Rhin n'est pas acceptée, créer des retenues d'eau dans la forêt pour alimenter de manière efficace un secteur de forêt plus restreint.*

→ **Revoir les objectifs de gestion à long terme :**

- Officialiser le Petit Rhin comme un cours d'eau cyprinicole et non salmonicole.

- **L'Augraben :**

→ **Assurer sa libre circulation dans la réserve :**

- Poursuivre la surveillance régulière des niveaux d'eau, notamment suite aux vents forts et aux crues, pour repérer la formation d'embâcles dans et en amont de la réserve ;
- Si besoin, faire des coupes préventives des arbres qui menacent de tomber dans l'Augraben.

→ **Protéger le cours d'eau et améliorer sa qualité :**

- Travailler avec des partenaires à la mise en place d'une réglementation pour la protection partielle ou totale de l'Augraben depuis sa source ;
- Travailler avec des partenaires à la réduction des ruissellements urbains et agricoles pour réduire les apports polluants ;
- Se tenir au courant et s'impliquer dans les projets de renaturation de l'Augraben et de ses affluents comme conseiller et/ou partenaire.

→ ***Dans un futur plus lointain, deux alternatives :***

1. Si l'eau devient de bonne qualité : profiter des opportunités apportées par le CC :

- *Utiliser les crues plus fréquentes en créant des débordements pour alimenter des milieux en manque d'eau ;*
- *Utiliser les embâcles pour créer des débordements temporaires (point de vigilance : veiller à ce que cette mesure ne provoque pas une prolifération des moustiques).*

2. Si l'eau reste de mauvaise qualité, éviter son mélange avec les eaux de la réserve :

- *S'assurer que les débordements de l'Augraben dans les milieux phréatiques restent réduits via le rehaussement des berges ou le creusement du lit dans les secteurs critiques.*

Bibliographie :

Natural England and the RSPB (2014) *Climate Change Adaptation Manual - Evidence to support nature conservation in a changing climate*.

CIPR (2013) *Etat des connaissances sur les éventuelles répercussions de modifications du régime hydrologique et de la température de l'eau sur l'écosystème du Rhin et actions envisageables*.

Edwards, F. K. *et al.* (2010) *Review on processes and effects of droughts and summer floods in rivers and threats due to climate change on current adaptive management strategies*. Available at: http://www.refresh.ucl.ac.uk/webfm_send/1860.

Moss, Brian. 2015. "Biodiversity Climate Change Impacts Report Card Technical Paper 17. Freshwaters, Climate Change and UK Conservation." 1–63.

Habitat naturel : Eaux douces stagnantes

Description des associations végétales

Classe des *Charetea* : végétation à Characées des eaux oligo-mésotrophes à eutrophes calcaires. Communautés occupant les petites pièces d'eau calme pouvant épisodiquement être submergées par les crues au bord du Vieux Rhin, avec un substrat type limoneux. Végétation pionnière se développant dans les milieux récents, ou renouvelés par les crues à conditions qu'elles ne soient pas trop fréquentes, ensuite remplacée par des hydrophytes. Répartition : île du Rhin et secteur central.

Classe des *Lemnetea minoris* : macrophytes enracinées ou non, associant lentilles d'eau et grands macrophytes flottants, dans les lacs, étangs, mares, chenaux de marais ou chenaux déconnectés du fleuve, avec des eaux méso-eutrophes à eutrophes. Caractéristique des eaux stagnantes peu profondes qui se réchauffent facilement. Répartition : île du Rhin et secteur central.

Classe des *Isoeto durieui - Juncetea bufonii* : végétation pionnière annuelle hygrophile à mésohygrophile des sols exondées ou humides, groupement rare en marge des fossés et des trous d'eau des prairies pâturées.

Classe des *Bidentetea tripartitae* : végétation pionnière annuelle et hygrophile. Groupements des berges ouvertes argileuses et argilo-limoneuses riches en éléments nutritifs.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température de l'air et de l'eau	↗	+ Allongement de la période de croissance et augmentation de la production de biomasse végétale - Enrichissement en matière organique qui pourrait causer une eutrophisation avec prolifération des cyanobactéries/phytoplanctons, une augmentation de la consommation d'oxygène et un changement de pH - Baisse du taux d'oxygène favorisant la libération de phosphore depuis les sédiments - Prolifération des plantes flottantes qui vont occulter la lumière, causant la perte des macrophytes immergés - Augmentation de l'évapotranspiration pouvant causer un abaissement du niveau d'eau - Disparition des espèces d'eaux fraiches et bien oxygénées - Prolifération d'espèces invasives déjà en place ou installation de nouvelles espèces
Etés secs Sécheresses	↗	- Assèchement des mares pluviales et phréatiques - Réduction de la surface d'habitats aquatiques - Concentration des espèces animales dans les points d'eau restants, entrainant compétition inter et intraspécifique - Concentration des polluants et nutriments menant à une eutrophisation - Mort de la végétation aquatique marginale - Perte de sites de reproduction pour des espèces animales - Perte de connectivité entre les milieux aquatiques + Limitation de l'installation des prédateurs aquatiques dans les points d'eau - Prédation facilitée pour les prédateurs terrestres - Les sécheresses répétées feront diminuer la diversité spécifique et favoriseront les espèces invasives
Précipitations hivernales	↗	+ Recharge en eau des mares temporaires ou alimentées à l'eau de pluie + Création de nouveaux habitats temporaires - Lessivage des sols à nu pouvant apporter des nutriments/sédiments - Dilution et appauvrissement du milieu aquatique si les apports en eau ne contiennent pas de nutriments

Pluies torrentielles Crues	↗	- Apport de sédiment/nutriments dans l'eau avec un risque d'eutrophisation - Perturbations fréquentes pouvant favoriser des espèces invasives/compétitives - Inondations en été pouvant causer la mort des végétaux et la mise à nu du sol
Toit de la nappe en été	↘	- Assèchement des mares phréatiques - Réduction des apports en eau pour d'autres milieux aquatiques
Toit de la nappe en hiver	↗	+ Recharge en eau des mares phréatiques + Création de nouveaux habitats temporaires

Les capacités d'adaptation

- Multiplicité des sources d'alimentation en eau pour certains plans d'eau.
- Dispersion rapide des espèces lorsque la connectivité écologique est bonne.
- En fonction de la nature du sol, bonne rétention d'eau dans les mares.
- De nombreux organismes aquatiques possèdent des formes de résistances aux sécheresses : graines, propagules, œufs, kystes, dormance, etc.
- Les organismes des mares temporaires sont souvent déjà adaptés à subir des aléas climatiques et des conditions extrêmes.

Les pressions non climatiques

- Agriculture : apports en polluants et en nutriments, pompage/drainage de l'eau, destruction des milieux.
- Urbanisation : apport en polluants, destruction des milieux.
- Espèces exotiques envahissantes : compétition avec les espèces locales.

Résultat du DVO	Vulnérabilité très forte

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Les milieux alimentés par l'eau du Rhin :
De par leur alimentation artificielle, ces milieux devraient pouvoir être maintenus en eau toute l'année. Ils subiront tout de même un battement d'eau plus important entre été et hiver, une hausse des températures, une perturbation des cycles biogéochimiques et une eutrophisation en période estivale, notamment pour les petits plans d'eau. Le risque est un bloom algal et/ou un envahissement par des espèces végétales flottantes telles que les lentilles d'eau au détriment des organismes benthiques, causant un effondrement de la diversité spécifique animale et végétale. En revanche, si la qualité de l'eau est maintenue, une hausse des températures pourrait permettre une augmentation de la biodiversité avec l'arrivée de nouvelles espèces (Moss 2015).

Les milieux phréatiques et pluviaux :
Ces habitats seront fortement dépendants du régime des précipitations et de ses conséquences, et pourraient subir des modifications importantes dans leur structure au cours de l'année et dans leur composition spécifique. Les surfaces d'habitats seront augmentées avec les hivers pluvieux, créant de nouveaux milieux temporaires et un maintien en eau plus long durant le printemps. En période estivale, la baisse des précipitations et du toit de la nappe phréatique causera une réduction drastique des surfaces d'habitats permanents, de leur qualité et des assecs plus fréquents. Les communautés animales et végétales seront impactées avec une généralisation des espèces au cycle de vie court ou présentant des formes de résistances, une réduction des espèces rares et sensibles à la qualité de l'eau ou au cycle de vie pluriannuel. La biodiversité serait réduite à l'échelle d'une mare mais augmentée à l'échelle du site entier avec l'alternance de milieux temporaires et permanents (Dehédin 2014).

Pistes d'adaptation envisagées par la Petite Camargue Alsacienne

- **Les milieux alimentés par l'eau du Rhin :**

→ **Maintenir en eau les milieux :**

- S'assurer du bon fonctionnement du circuit de l'eau dans la réserve et l'améliorer si besoin (cf. Gestion de l'eau au cœur de la réserve) ;
- Si les débits deviennent insuffisants pour maintenir la bonne qualité des milieux : négocier avec VNF une augmentation du débit accordé depuis le canal de Huningue. Sinon, prioriser certains milieux.

→ **Maintenir la qualité des milieux :**

- Réfléchir à une modulation des débits : se détacher partiellement du régime du Rhin et augmenter les débits estivaux/automnaux pour limiter la hausse de la température de l'eau.

- **Les milieux phréatiques et pluviaux :**

→ **Essayer si possible de maintenir les milieux en eau :**

- Creuser plus profondément certains milieux pour allonger la période d'inondation, voire rendre la présence d'eau permanente ;
- Eviter l'installation d'une ripisylve trop dense en bordure des points d'eau pour limiter les pertes par évapotranspiration et le colmatage par la végétation morte ;
- Mettre en place des interventions ponctuelles de déblaiement pour éviter l'accumulation de matière organique et le colmatage des points d'eau.

→ **Si le maintien en eau n'est pas possible :**

- Poursuivre la valorisation de ces milieux comme eau temporaire dans le plan de gestion ;
- Mettre en place des suivis scientifiques sur les espèces caractéristiques des eaux temporaires.

Bibliographie :

Natural England and the RSPB (2014) *Climate Change Adaptation Manual - Evidence to support nature conservation in a changing climate*.

Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie (2012) 'Vulnérabilité des milieux aquatiques et de leurs écosystèmes - Etude des zones humides'.

Dehédin, A. (2014) *Changements globaux et assèchement des zones humides fluviales : conséquences sur les processus biogéochimiques et les communautés d'invertébrés*. Université Claude Bernard - Lyon I.

Moss, Brian. 2015. "Biodiversity Climate Change Impacts Report Card Technical Paper 17. Freshwaters, Climate Change and UK Conservation." 1–63.

Habitat naturel : Tourbières et marais

Description des associations végétales

Classe des *Phragmiti australis-Magnocaricetea elatae* : marais et marécages mésotrophes à eutrophes. Groupements à hautes herbes dominés par roseau, jonc et laiche dans des dépressions bordant étangs et chenaux. Substrat argileux. Evolution vers des saulaies ou aulnaies marécageuses. Si eutrophisation : groupement à hautes herbes nitrophiles (orties, spirée, ronce) et si assèchement : prairies inondables à *Agrostietea stolonifera* puis prairies humides à *Molinio-Arrhenatheretea*. Répartition : secteur central.

Classe des *Scheuchzerio palustris-Caricetea fusca* : bas marais oligotrophes sur sol tourbeux. Très rares, groupements denses de cypéracées sur sol tourbeux.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	-/+ Allongement de la saison de végétation avec augmentation de la production de biomasse - Augmentation du relargage de nitrogène dans l'eau induisant un changement dans les communautés - Augmentation de l'évapotranspiration induisant un abaissement du niveau d'eau
Etés secs Sécheresses	↗	- Assèchement des milieux - Augmentation de l'oxydation avec relargage de nutriments - Colonisation par des espèces telles que le saule avec un risque de fermeture des milieux - Colonisation par des espèces invasives - Perte des espèces spécialisées - Augmentation du taux d'oxydation dans l'eau
Précipitations hivernales	↗	+ Recharge en eau des milieux et création de nouvelles niches à coloniser - Lessivage des sédiments avec augmentation des apports en nutriments et perte des espèces oligotrophes
Précipitations torrentielles	↗	- Enrichissement en nutriment par lessivage causant une eutrophisation de l'eau - Augmentation de l'érosion
Indice Feu de forêt	↗	- Habitats type roselières peuvent bruler très facilement avec un effet catastrophique sur la faune si cela a lieu durant les périodes de reproduction/nidification
Toit de la nappe en été	↘	- Assèchement des milieux - Augmentation de l'oxydation avec relargage de nutriments
Toit de la nappe en hiver	↗	+ Recharge en eau des milieux et création de nouvelles niches à coloniser - Terrains plus difficilement praticables pour l'équipe de gestion

Les capacités d'adaptation

- La végétation des roselières est peu sensible à l'enrichissement en nutriments.
- L'alimentation en eau peut se faire par plusieurs sources (précipitation, nappe, cours d'eau).

Les pressions non climatiques

- Agriculture : apport en polluants et nutriments, drainage et pompage de l'eau.
- Urbanisation : apport en polluants, destruction des milieux.
- Fermeture des milieux : envahissement par des espèces telles que le saule.
- Espèces exotiques envahissantes : compétition avec les espèces locales.

- Activités touristiques et de loisirs : risque d'incendie d'origine humaine.

Résultat du DVO	Vulnérabilité très forte

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Les roselières :
Les espèces de roseaux peuvent s'adapter à une large gamme de conditions écologiques, il est donc peu probable que les roselières évoluent dans leur structure. En revanche, les canicules et les sécheresse pourront entrainer une minéralisation de la matière organique et une eutrophisation des milieux aquatiques liés aux roselières, entrainent une perte de qualité du milieu et la disparition des espèces de faune et de flore exigeantes/sensibles. Un assèchement prolongé du sol en période estivale pourrait également favoriser l'installation d'espèces ligneuses telles que le saule, entrainant alors un risque de fermeture de la roselière (NaturalEngland and RSPB 2014).

Les marais :
Même alimentées par l'eau du Rhin, les zones marécageuses souffriront du battement d'eau plus important entre hiver et été, et plus particulièrement de la période d'abaissement du niveau d'eau dans le sol dû aux canicules, aux sécheresses et à l'évapotranspiration. Ces milieux plutôt pauvres en nutriments pourraient s'enrichir avec la minéralisation de la matière organique se retrouvant à l'air libre durant les sécheresses. Un réarrangement des communautés végétales est à attendre, avec la perte des espèces typiques de ces milieux pauvres et l'évolution vers une végétation des prairies humides.

Pistes d'adaptation envisagées par la Petite Camargue Alsacienne

→ **Maintenir les milieux en eau :**

- Si le milieu n'est pas inclus dans le circuit de l'eau, créer si possible une alimentation pour assurer un soutien en eau durant la période estivale ;
- Augmenter la quantité d'eau envoyée dans ces milieux si la végétation semble souffrir des sécheresses ;
- Utiliser les busages ou éventuellement créer des retenues d'eau pour contrôler le transfert vers les autres milieux et stocker de l'eau en période hivernale pour réduire l'installation des ligneux.

→ **Si le maintien en eau n'est pas possible :**

- Accepter que le milieu évolue vers un autre type de milieu avec la perte des espèces typiques ;
- Accompagner les milieux dans leur transition (éviter l'installation des EEE, couper les ligneux, augmenter la charge de pâturage, etc.).

→ **Si les roselières s'assèchent :**

- Faucher toutes les quelques années pour éviter l'installation des ligneux ;
- Trouver des débouchés pour évacuer la matière issue des roselières (suivre le projet du PNR Vosges du Nord de développement d'une filière à l'échelle du Grand Est avec BATILIBRE) ;
- Sensibiliser le public sur le risque incendie et les conséquences pour la biodiversité : maraudage durant la période estivale, affiches temporaires au niveau des bâtiments/observatoires, communication via le site internet ;
- Créer un plan d'urgence de priorisation des milieux à sauver en cas d'incendie, le partager en interne et le transmettre aux pompiers.

Bibliographie :

Natural England and the RSPB (2014) *Climate Change Adaptation Manual - Evidence to support nature conservation in a changing climate*.

Wheeler, B. D. *et al.* (2004) 'Protecting and Enhancing Wetlands Ecohydrological Guidelines for Lowland Wetland Plant Communities', *Environmental Agency Report*, (December).

Habitat naturel : Prairies humides et mégaphorbiaies

Description des associations végétales

Classe des *Galio aparines - Urticetea dioicae* : ourlets nitrophiles humides. Végétations à dominante d'herbacées vivaces qui bordent les lisières forestières. Hautes herbes : ortie, solidages, herbacées lianescentes. Présence d'orchidées de lisière. Substrat fin, riche en nitrate et humide. Evolution vers espèces arbustives puis arborescentes.

Classe des *Filipendulo ulmariae - Convolvuletea sepium* : mégaphorbiaies méso-eutrophes inondables. Groupements à hautes herbes vivaces sur sols hydromorphes à inondations périodiques comme les berges de cours d'eau, bras morts et fossés humides. Sensible à l'envahissement par le Solidage et la Balsamine de l'Himalaya.

Classe des *Molinio caeruleae – Juncetea acutiflori* : prairies hygrophiles sur sol oligotrophe. Groupement à hautes herbes, pluristrates, dominés par la molinie avec une strate haute d'espèces florifères (cirse, Œillet superbe) et une strate basse à violettes, lotiers, etc.

Classe des *Agrostietea stolonifera* : prairies inondables mésotrophes à eutrophes sur substrat périodiquement inondé. Prairies souvent incluses dans les prairies du *Molinio-Arrhenatheretea* dont elles constituent le faciès le plus humide. Prairies de hauteur variable, pluristrates, à dominance de Poaceae, Joncaceae et Cyperaceae. La végétation dépend étroitement de la durée d'inondation : sans eau, évolution vers Moliniaie, tandis que des inondations prolongées vont permettre le développement des faciès marécageux à Carex.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	+ Allongement de la période de végétation -/+ Augmentation de la production de biomasse - L'avancée de la date de végétation peut être défavorable à la nidification de certains oiseaux préférant les herbes basses - Risque de perte des espèces à tendance montagnarde comme l'Œillet superbe - Augmentation de l'évapotranspiration entrainant un abaissement du niveau d'eau
Etés secs Sécheresses	↗	- Assèchement des milieux - Modification de la composition spécifique - Installation d'espèces arbustives ou arborescentes comme le saule - Minéralisation de l'humus - Une baisse du niveau d'eau à la fin du printemps peut être défavorable à la nidification des oiseaux tels que les chevaliers
Précipitations hivernales	↗	+ Apport en eau dans le milieu - Inondations plus fréquentes peuvent entrainer une modification dans les communautés - L'apport de nutriments par les pluies peut entrainer la perte des espèces oligotrophes - Un sol humide au printemps, associé à une hausse des températures, sera en faveur des espèces compétitives
Pluies torrentielles Crues	↗	- Lessivage apportant des nutriments et causant un enrichissement du milieu - Perturbations fréquentes favorisent les espèces invasives
Toit de la nappe en été	↘	- Assèchement du milieu
Toit de la nappe en hiver	↗	+ Apport en eau dans le milieu - Modification de la composition spécifique avec des espèces résistant mieux aux inondations prolongées

Les capacités d'adaptation

- Différentes possibilités d'alimentation en eau pour certains milieux.

Les pressions non climatiques

- Agriculture : enrichissement en nutriments/polluants, destruction des habitats.
- Urbanisation : enrichissement en polluants, destruction des habitats.
- Fermeture des milieux : envahissement par des espèces telles que le saule.
- Espèces exotiques envahissantes : compétition avec les espèces locales.

Résultat du DVO	Vulnérabilité très forte

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Les prairies humides seront aussi soumises à la hausse du niveau d'eau en hiver et à la baisse des niveaux d'eau en été. Selon la microtopographie du sol, l'organisation des communautés végétales pourrait être remaniée. Les parties les plus surélevées qui sont totalement coupées de la nappe, ou partiellement en été-automne, verront probablement leur végétation évoluer vers *Molinio caeruleae – Juncetea acutiflori*, voire vers une prairie mésophile. Les dépressions fortement inondées durant la période hivernale et gardant une certaine humidité durant la période estivale pourraient évoluer vers *Agrostietea stolonifera*. Avec des battements d'eau plus importants, la classe des *Filipendulo ulmariae - Convolvuletea sepium* pourrait aussi être favorisée. Les sécheresses pourraient aussi favoriser les espèces précoces et/ou annuelles. Les plantes réalisant la photosynthèse en C4 seront avantagées avec l'augmentation du CO2 atmosphérique par leur meilleure tolérance aux fortes chaleurs et leur meilleure efficacité dans l'utilisation de la ressource en eau que les plantes C3. Sécheresse et eutrophisation seront aussi en faveur des plantes buissonnantes ou arbustives comme le saule, qui tolèrent aussi l'humidité hivernale, accentuant le risque de fermeture des milieux. Certaines prairies pourraient même perdre la végétation caractéristique des milieux humides et évoluer vers une prairie mésophile. En revanche, si l'assèchement des milieux peut-être évité, ceux-ci devraient être suffisamment résilients face à la hausse des températures pour se maintenir (Carey 2015).

Pistes d'adaptation envisagées par la Petite Camargue Alsacienne

→ Maintenir les milieux en eau :

- Si le milieu n'est pas inclus dans le circuit de l'eau, créer si possible une alimentation pour assurer un soutien en eau durant la période estivale ;
- Augmenter la quantité d'eau envoyée dans ces milieux si la végétation semble souffrir des sécheresses ;
- Utiliser les busages ou éventuellement créer des retenues d'eau pour contrôler le transfert vers les autres milieux et stocker de l'eau en période hivernale pour réduire l'installation des ligneux.

→ Si le maintien en eau n'est pas possible :

- Accepter que le milieu évolue vers un autre type de milieu avec la perte des espèces typiques ;
- Accompagner les milieux dans leur transition (éviter l'installation des EEE, couper les ligneux, augmenter la charge de pâturage, etc.).

Bibliographie :

Natural England and the RSPB (2014) *Climate Change Adaptation Manual - Evidence to support nature conservation in a changing climate*.

Wheeler, B. D. *et al.* (2004) 'Protecting and Enhancing Wetlands Ecohydrological Guidelines for Lowland Wetland Plant Communities', *Environmental Agency Report*, (December).

Joyce, Chris B., Matthew Simpson, and Michelle Casanova. 2016. "Future Wet Grasslands: Ecological Implications of Climate Change." Ecosystem Health and Sustainability 2(9):1–15.

Carey, P. D. 2015. Biodiversity Climate Change Impacts Report Card Technical Paper 5. Impacts of Climate Change on Terrestrial Habitats and Vegetation. Vol. 44.

Habitat naturel : Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides

Description des associations végétales :

Classe des *Alnetea glutinosae* : forêts d'aulnes des dépressions marécageuses sur sol engorgé. Localisées en bordure des cours d'eau, queues et berges d'étangs, ou petites dépressions. Souvent en mosaïque avec des saulaies. Forêts assez ouvertes avec un important couvert herbacé, engorgées une grande partie de l'année. Substrat argilo-limoneux, marécageux, l'eau stagne à faible profondeur avec un humus très riche en matière organique. En l'absence de modification des conditions hydriques, ce groupement est stable.

Classe des *Salicetea purpureae* : groupements pionniers à saules arbustifs des berges et des bancs de graviers, en mosaïque avec des groupements herbacés et groupements arborescents. Groupements arbustifs ouverts, peu denses, tapis herbacés plus ou moins important avec faciès d'envahissement par le solidage. Substrat périodiquement rajeuni constitué de sables et graviers, ennoyé lors des crues du Rhin et xérique lors des étiages. Evolution vers une saulaie-peupleraie puis vers une peupleraie à bois mixtes et enfin vers une forêt à bois dure.

Classe des *Querco roboris – Fagetea sylvaticae* : forêts de feuillus mésophiles tempérées caducifoliées ou mixtes.
- *Populetalia albae* : aulnaies-peupleraies alluviales rhénanes non marécageuses. Formations arborescentes pionnières ou transitoires, présentes en mosaïque dans les forêts de l'Ile du Rhin. Souvent des saulaies à *Salix alba*, *Populus alba* et *Populus nigra* : forêts peu denses avec un tapis herbacé. Structure variable selon l'âge du peuplement. Substrat alluvial hétérogène à cailloux, graviers et sable soumis à des variations importantes du niveau du toit de la nappe phréatique. Evolution vers forêt à bois dur du *Pruno padi – Fraxinetum excelsioris*.
- *Fagetalia sylvaticae* : frênaies et charmaies, forêts très dégradées sur le site de la PCA. Substrat sec et grossier pour la Chênaie-charmais à orme du *Carpino-Ulmetum minoris*, substrat plus fin pour la tillaie du *Carici albae-Tilietum cordatea*, substrat fin et à engorgement temporaire pour la Frênaie du *Pruno-Fraxinetum*. Nappe à quelques décimètres de profondeur.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	+ Allongement de la période de végétation -/+ Décalage de la phénologie -/+ Débourrage précoce mais avec un risque lié aux gelées tardives - Augmentation de l'évapotranspiration - Hiver doux assure une meilleure survie des herbivores et des insectes pouvant mener à un surpâturage sur les arbres - Aoutement incomplet pouvant mener à des dommages importants dus au froid - Prolifération de maladies et de ravageurs, avec par exemple le risque d'arrivée du Phytophtora sp affectant les aulnes - Froid moins intense peut réduire la germination/régénération de certaines espèces
Etés secs Sécheresses	↗	- Stress hydrique et physiologique -/+ Déclin du couvert de la canopée - Pic de mortalité des arbres lors des étés extrêmement secs -/+ Changement dans la composition de la flore du sol -/+ Changement dans la composition spécifique des boisements - Mortalité dans la banque de graine, notamment celles des saules et des peupliers lorsque la sécheresse dépasse 30 jours
Précipitations hivernales Toit de la nappe en hiver	↗	+ Création de nouveaux habitats pour les boisements humides - Réduction de la profondeur des racines pour les espèces intolérantes aux sols humides en hiver

Toit de la nappe en été	↘	- Stress physiologique et mortalité des boisements humides
Débits estivaux du Vieux Rhin	↘	-/+ En bordure haute de la berge qui sera coupée de l'eau du Rhin, perte des saules et installation de boisement plus dur type aulnaie-frênaie
Débits hivernaux du Vieux Rhin	↗	+ Alimentation en eau des berges + Remise en eau d'annexes secondaires en faveur d'un rajeunissement des boisements - Perte des arbres en bordure directe de l'eau et qui risquent de se retrouver submergés toute l'année
Fréquence des crues	↗	- Mortalité/déracinement des arbres sur les berges et les bancs de gravier - Difficulté de s'implanter pour les jeunes arbres + Création de nouvelles niches avec rajeunissement des habitats
Débit du Petit Rhin	↘	- Diminution de l'alimentation en eau de la forêt alluviale
Vents violents	↗	- Perte des arbres vétérans et/ou des arbres dont les racines sont fragilisées par l'alternance sécheresse/hiver humide -/+ Augmentation de la quantité de bois mort -/+ Création de trouées favorisant une hétérogénéité de structure mais avec le risque d'implantation d'espèces invasives

Les capacités d'adaptation :

- Bonne capacité de résilience des arbres tels que le saule qui sont régulièrement soumis à des aléas climatiques.
- Présence d'une banque de graines dans le sol.
- Diversités spécifiques et génétiques d'une forêt laissée en libre évolution.

Les pressions non climatiques :

- Maladies, insectes ravageurs, herbivorie : mortalité des arbres fragilisés, réduction de la régénération.
- Agriculture : drainage et pompage de l'eau.
- Espèces exotiques envahissantes : compétition avec les espèces locales.

Résultat du DVO	Vulnérabilité très forte

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation :

La mosaïque des milieux forestiers devrait s'accentuer avec le changement climatique selon la microtopographie du sol. Les aulnaies pourraient souffrir des futures sécheresses et se restreindre aux dépressions les plus humides, ou se retrouver en mélange avec des frênes sur les sols un peu moins humides. Pour les aulnes il existe également le risque de la diffusion du Phytophthora qui pourrait accélérer la mortalité des boisements. Les boisements secs à *Fagetalia sylvaticae* pourraient ne pas apprécier les hivers plus humides, ils persisteront sur les sols s'asséchant rapidement ou sur les hauteurs coupées de la dynamique de la nappe et des cours d'eau. Les boisements mésophiles intermédiaires à *Populetalia albae*, supportant à la fois des sécheresses et des conditions humides, se généraliseront probablement (Kieffer et al. 2013).

Les peuplements à *Salicetea* se trouvant en bordure du fleuve pourraient aussi évoluer. Avec les étiages sévères en été, les saulaies risquent de régresser sur la partie haute des berges en faveur de boisements mésophiles, et se retrouver en mélange avec des peupliers dans la partie intermédiaire. La saulaie devrait persister en partie basse des berges, mais elle sera plus régulièrement soumise aux crues, entrainant des rajeunissements plus réguliers des milieux et une possible perte des arbres vétérans en faveur de formes buissonnantes (Rivaes et al. 2014).

Les modifications des communautés forestières se fera dans un premier temps par une forte mortalité due aux

modifications des conditions hydrologiques, à l'arrivée de nouveaux pathogènes et à la hausse des vents forts qui impacteront des arbres au système racinaire déjà fragilisé par ces changements. De nombreuses trouées forestières vont se former, avec des opportunités pour les EEE qui seront à surveiller.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ Miser sur la résilience naturelle des milieux forestiers :

- Poursuivre la non-intervention sur les milieux forestiers (hormis interventions sécuritaires) en acceptant que les boisements se réorganisent d'eux-mêmes et ne correspondent pas forcément aux objectifs actuels de gestion ;
- Faire remonter à RNF le besoin d'adapter le protocole du PSDRF à la problématique du changement climatique et si possible le réaliser sur la totalité des milieux forestiers de la réserve ;
- Pour compléter le PSDRF, créer des placettes forestières permanentes, ou autre, distribuées aléatoirement sur la réserve et dont l'évolution sera plus régulièrement suivie ;
- Etablir des suivis sur d'autres indicateurs de la qualité des milieux forestiers : lichens, bryophytes, invertébrés, etc. ;
- Eventuellement dans les zones accessibles en bordure de prairies, intervenir sur les EEE lorsque c'est possible pour éviter une colonisation des milieux ouverts ;
- Etablir une liste des futures essences forestières les plus probables qui pourraient arriver dans la réserve ;
- *Réfléchir à la mise en place d'un protocole pour comparer la libre évolution à une gestion plus interventionniste : réaliser des plantations de différents génotypes d'espèces natives dans des zones à forte mortalité puis comparer leur évolution à d'autres zones similaires laissées en libre évolution sur le moyen terme.*

→ Si l'on souhaite maintenir les aulnaies marécageuses sur le cœur de la réserve :

- Assurer une alimentation en eau via la gestion de l'eau sur la réserve ;
- Creuser des dépressions forestières en contact permanent avec la nappe ;
- Surveiller l'apparition du Phytophtora de l'aulne en organisant une tournée de surveillance une fois dans l'année pour contrôler l'état de santé des aulnes, notamment ceux en bordure d'eau courante ;
- S'il y a apparition du Phytophtora, couper les arbres atteint pour limiter la prolifération de la maladie et favoriser le recépage ;
- *Dans un futur plus lointain avec présence du Phytophtora : lancer un programme conservatoire si la mortalité des aulnes devient trop importante.*

→ Accompagner les saulaies du Vieux Rhin :

- Suivre et cartographier l'évolution des saulaies via des orthophotos ;
- Surveiller l'installation d'EEE végétales dans les saulaies (par exemple lors du suivi castor) comme la Renouée du Japon ou l'Erable negundo pour pouvoir intervenir avant invasion.

→ Alternative dans un futur plus lointain : adopter une gestion plus interventionniste et anticiper le changement climatique :

- *Dans les secteurs touchés par une forte mortalité, organiser des plantations d'espèces natives de différents génotypes ;*
- *Anticiper le changement climatique en organisant des plantations des futures espèces qui ont été identifiées comme les plus probables.*

Bibliographie :

Natural England and the RSPB (2014) *Climate Change Adaptation Manual - Evidence to support nature conservation in a changing climate*.

Rivaes, R. P. *et al.* (2014) 'Modeling the evolution of riparian woodlands facing climate change in three european rivers with contrasting flow regimes', *PLoS ONE*, 9(10). doi: 10.1371/journal.pone.0110200.

Kieffer, Jean-Claude, Philippe Genot, and Philipp Graser. 2013. Plan d'action "Forêts Alluviales."

Habitat naturel : Steppes et prairies calcaires

Description des associations végétales

Classe des *Sedo albi – Scleranthetea biennis* : groupements pionniers des dalles rocheuses. Groupements xériques de très petite superficie présent sur les vieux murs/fondations, évoluent vers Xerobromion sur les surfaces sablo-caillouteuses décapées. Peuvent être les lieux d'introduction de plantes méditerranéennes.

Classe des *Festuco valesiacae – Brometea erecti* : prairies et pelouses sèches semi-naturelles sur substrat carbonaté et faciès d'embuissonnement sur calcaire. Pelouses ou prairies pluristrates à espèces hémicryptophytes, parfois en coussinets, caractéristiques des faciès les plus xériques et souvent accompagnées de jeunes ligneux. Floraison longue et variée, vernale, estivale et automnale. Substrat constitué d'alluvions, sols secs et très pauvres en éléments nutritifs. Sans fauche, évolution vers fruticées à *Prunus spinosa*, *Crataegus monogyna*, etc., puis forêt sèche du Carpinion.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	-/+ Floraison et production de graines précoces -/+ Installation de plantes méditerranéennes - Réduction de la proportion des sols nus en hiver par soulèvement du givre, réduisant alors la régénération ou le recrutement des graines des plantes annuelles
Eté secs Sécheresses	↗	-/+ Prolifération des plantes stress-tolérantes et rudérales -/+ Prolifération des plantes annuelles par rapport aux plantes vivaces - Oligotrophisation des sols - Sécheresses trop longues peuvent avoir un effet négatif sur la banque de graines du sol -/+ Réduction du couvert des graminées
Précipitations torrentielles	↗	- Lessivage des sols avec risque d'apport en nutriments/polluants par les milieux voisins
Précipitations hivernales	↗	- Installation de plantes compétitrices qui se développent tôt dans l'année -/+ Embuissonnement dans les dépressions restant humides -/+ Développement des mousses/lichens au sol
Indice feu de forêt	↗	- Risque d'incendie si de la biomasse végétale sèche s'accumule au sol

Les capacités d'adaptation

- La majorité des espèces présentes sont déjà résistantes aux stress hydrique et thermique.
- Présence de nombreuses espèces annuelles.

Les pressions non climatiques

- Agriculture : apport en polluants et nutriments depuis les cultures voisines, destruction des habitats.
- Urbanisation : destruction des habitats.
- Fermeture des milieux : envahissement par des espèces buissonnantes et par le Robinier faux-acacia.

Résultat du DVO	Vulnérabilité faible

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Les prairies sèches devraient peu évoluer dans leur structure, les espèces la composant étant déjà adaptées aux stress hydrique et thermique. Les hivers humides pourraient éventuellement être favorables au développement de plantes précoces et compétitrices en début de saison de végétation, mais qui seraient ensuite remplacées par des espèces plus adaptées. La composition spécifique pourrait être amenée à légèrement évoluer avec la prolifération des espèces annuelles et des espèces spécialistes (Maalouf et al. 2012), l'impact de sécheresses durables sur la banque de graines du sol (Basto et al. 2018) et l'augmentation du ratio phorbes/graminées, mais les communautés déjà présentes devraient être majoritairement résistantes au changement climatique (Carey 2015). De nouvelles espèces méditerranéennes pourraient faire leur apparition avec le décalage progressif des aires de répartition et les prairies sèches pourraient voir leur surface augmenter avec la transformation de prairies mésophiles.
Un impact indirect du changement climatique pourrait être l'augmentation de la température couplée à l'augmentation des dépôts en azote, favorisant alors la productivité des graminées au détriment des phorbes et menant à des communautés moins diversifiées (Carey 2015). Les prairies sèches resteraient également menacées par l'envahissement du Robinier faux-acacia qui est capable de s'adapter aux sécheresses.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ Favoriser leur résilience face au changement climatique :

- Poursuivre le maintien d'une mosaïque paysagère en laissant des haies et buissons pour créer des mini-zones refuges un peu plus ombragées ;
- Si besoin, réaliser des interventions localisées à la débroussailleuse en tout début de saison de végétation pour couper les espèces compétitrices qui pourraient profiter des hivers humides pour se développer précocement et freiner la croissance des espèces spécialisées ;
- Selon les prairies et leur réponse au CC, laisser en libre évolution en acceptant la modification de la composition spécifique.

→ Limiter le risque incendie dans les prairies sèches :

- Sensibiliser le public sur le risque incendie et les conséquences pour la biodiversité : maraudage durant la période estivale, affiches temporaires au niveau des bâtiments/observatoires, communication via le site internet ;
- Créer un plan d'urgence de priorisation des milieux à sauver en cas d'incendie, le partager en interne et le transmettre aux pompiers.

Bibliographie :

Natural England and the RSPB (2014) *Climate Change Adaptation Manual - Evidence to support nature conservation in a changing climate*.

Basto, S. *et al.* (2018) 'Severe effects of long-term drought on calcareous grassland seed banks', *Climate and Atmospheric Science*. Springer US, 1(1), pp. 1–7. doi: 10.1038/s41612-017-0007-3.

Maalouf, Jean Paul, Yoann Le Bagousse-Pinguet, Lilian Marchand, Emilie Bâchelier, Blaise Touzard, and Richard Michalet. 2012. "Integrating Climate Change into Calcareous Grassland Management." Journal of Applied Ecology 49(4):795–802.

Carey, P. D. 2015. Biodiversity Climate Change Impacts Report Card Technical Paper 5. Impacts of Climate Change on Terrestrial Habitats and Vegetation. Vol. 44.

Habitat naturel : Prairies mésophiles

Description des associations végétales

Classe des *Arrhenatheretea elatioris* : prairies mésophiles et mésotrophes pluristrates à floraison étalée dans le temps et l'espace. Nombreuses poacées mais les plantes à fleurs sont plus visibles. Substrat constitué d'alluvions fins et fertiles, bonne économie en eau avec des sols ni trop secs ni trop humides. Les prairies pâturées évoluent vers *Cynosorion cristati* avec des espèces nitrophiles. En l'absence de fauche, évolution vers fruticées puis forêts type Chênaie-Charmaie-Tillaie. Les zones humides sont colonisées par des espèces du *Molinion caerulea*. Les prairies non fauchées et humides sont envahies par espèces du *Filipendulion uulmariae*.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	+ Allongement de la période de végétation -/+ Décalage de la floraison et de la production de graines -/+ Augmentation de la production de biomasse - Prolifération des espèces compétitives
Etés secs Sécheresses	↗	-/+ Développement des espèces stress-tolérantes et rudérales -/+ Modification de la composition spécifique des communautés
Précipitations hivernales	↗	- Inondations plus fréquentes pouvant causer une modification des communautés - Augmentation du phosphore dans le sol
Pluies torrentielles	↗	- Apport en nutriments/polluants avec eutrophisation via les ruissellements

Les capacités d'adaptation

- Grande richesse spécifique des prairies mésophiles.
- Bonne résilience face aux aléas climatiques.

Les pressions non climatiques

- Agriculture : exploitation des milieux, apport en nutriments/polluants, destruction des milieux.
- Urbanisation : apport en polluants, destruction des milieux.

Résultat du DVO	Vulnérabilité moyenne

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Les prairies mésophiles ne devraient pas subir de modification dans leur structure, mais la composition spécifique sera amenée à changer. En fonction de la microtopographie du sol, la végétation pourra évoluer vers des communautés appréciant les sols humides en sortie d'hiver, ou vers des communautés plus proches des prairies sèches. En début de saison de végétation, la production de biomasse pourrait être augmentée avec la dominance d'espèces compétitrices et/ou des espèces à photosynthèse C4 si les ressources en eau sont suffisantes. Le principal risque est la mortalité de la végétation avec la hausse des sécheresses, notamment en période estivale, créant alors des niches favorables aux espèces exotiques envahissantes. Mais les prairies possèdent une bonne capacité d'adaptation avec la diffusion rapide d'espèces résistantes aux sécheresses (Craine et al. 2013). Une hausse du nombre d'espèces rudérales et annuelles est à attendre, avec une régression des espèces vivaces en taille et en nombre (Carey 2015).

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ S'adapter aux sécheresses dans un objectif de maintenir les prairies mésophiles :

- Lors des reconversions de parcelles agricoles, semer les prairies avec des espèces adaptées aux sécheresses.

→ Accompagner certains milieux dans leur transition :

- Laisser certaines prairies mésophiles évoluer vers un type de prairies plus sèches en acceptant une perte de productivité en foin ;
- Intervenir sur les EEE et les ligneux s'ils commencent à s'installer ;
- Dans les prairies actuelles et en fonction de l'objectif à long terme pour les prairies concernées, ressemer des espèces plus adaptées dans les zones souffrant particulièrement des sécheresses.

Bibliographie :

Natural England and the RSPB (2014) *Climate Change Adaptation Manual - Evidence to support nature conservation in a changing climate*.

Carey, P. D. 2015. Biodiversity Climate Change Impacts Report Card Technical Paper 5. Impacts of Climate Change on Terrestrial Habitats and Vegetation. Vol. 44.

Craine, Joseph M., Troy W. Ocheltree, Jesse B. Nippert, E. Gene Towne, Adam M. Skibbe, Steven W. Kembel, and Joseph E. Fargione. 2013. "Global Diversity of Drought Tolerance and Grassland Climate-Change Resilience." Nature Climate Change 3(1):63–67.

Habitat naturel : Landes et fruticées

Description des associations végétales

Classe des *Crataego monogynae – Prunetea spinosa* : haies, fruticées et manteaux forestiers. Phase dynamique entre prairies et forêts. Substrats non inondables ou rarement inondés, mésotrophes à eutrophes. Evolution vers forêts du *Stellario-Carpinetum* ou *Carpino-Ulmetum* dans les parties les plus sèches et sablo-caillouteuses, et du *Pruno-Fraxinetum* dans les parties les plus humides et à substrat plus fin.
- *Prunus – Ligestretum* : dans les zones peu inondables.
- *Salici – Viburnetum opuli* : zones parfois inondables.
- *Clematis vitalba et Corylus avellana* : en lisière forestière du *Querco-Ulmetum* sur sols humides et riches en azote.
- *Humulo lupuli – Sambucetum nigrae* : faciès frais les plus eutrophes.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	+ Allongement de la période de végétation - Augmentation de l'ombrage par les grands arbres avec l'augmentation de la production de biomasse, pouvant entrainer une modification de la composition spécifique des bordures - Froid pas assez intense en hiver pour certaines espèces de baies entrainant une baisse de la production de bourgeons, fleurs et fruits - Augmentation des maladies et insectes ravageurs
Précipitations hivernales	↗	- Modification dans la structure du sol avec augmentation de la mortalité des haies
Etés secs Sécheresses	↗	- Augmentation de la mortalité pour certaines espèces - Stress-thermique et sensibilité accrue aux ravageurs

Les capacités d'adaptation

Non trouvées dans la littérature.

Les pressions non climatiques

- Espèces exotiques envahissantes : compétition avec les espèces locales.
- Urbanisation : destruction des habitats.
- Agriculture : destructions des habitats.

Résultat du DVO	Vulnérabilité faible

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Actuellement il y a relativement peu de connaissances sur les effets potentiels du CC sur cet habitat. A priori, les lisières arbustives ne devraient pas être trop impactées par le changement climatique, hormis une possible modification de la composition spécifique avec par exemple la perte d'espèces à baies ayant besoin d'hivers froids pour germer (NaturalEngland and RSPB 2014).

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ **Améliorer les connaissances :**

- Mettre en place des suivis de la composition spécifique et de la structure de ces milieux pour estimer l'impact du changement climatique via le PSDRF ou un autre protocole.

Bibliographie :

Natural England and the RSPB (2014) *Climate Change Adaptation Manual - Evidence to support nature conservation in a changing climate*.

Habitat naturel : Communautés associées aux cultures

Description des associations végétales

Classe des *Stellarietea media* : groupements associés aux cultures. Espèces messicoles annuelles et espèces ségétales. Végétation se limitant à une bande plus ou moins dense en lisière des champs et vers les chemins.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	+ Allongement de la période de végétation - Décalage entre floraison et pollinisateurs et autres espèces dépendantes du nectar comme source de nourriture - Arrivée de nouveaux pathogènes dans les cultures, pouvant entrainer l'utilisation de nouveaux pesticides
Etés secs Sécheresses	↗	-/+ Changement dans la composition spécifique des communautés, en faveur d'espèces telles que le Maceron, Cotonnière commune, Asperge sauvage, Mauve commune, Géranium fluet et Brome variable. - Augmentation de la proportion de sols nus - Augmentation du risque de mortalité dans les zones exposées à la sécheresse

Les capacités d'adaptation

- Nombreuses plantes annuelles.

Les pressions non climatiques

- Agriculture : utilisation d'intrants, destruction des milieux selon les pratiques agricoles.

Résultat du DVO	Vulnérabilité moyenne

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Ces communautés ne devraient pas trop souffrir du changement climatique, sauf perturbations et évènements extrêmes qui peuvent amener la composition spécifique des communautés à évoluer vers des espèces plus adaptées. L'évolution de ces milieux dépendra surtout de l'évolution des pratiques agricoles (NaturalEngland and RSPB 2014).

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ **Favoriser la résilience de ces milieux :**

- Continuer la politique actuelle de valorisation de ces milieux pour augmenter leur surface.

Bibliographie :

Natural England and the RSPB (2014) *Climate Change Adaptation Manual - Evidence to support nature conservation in a changing climate*.

Espèce patrimoniale : Saumon Atlantique (*Salmo salar*)

Description de l'espèce

Espèce évaluée : LC niveau mondial, VU niveau européen, VU niveau national, CR niveau régional.
Espèce réglementée :
- Directive 92/42/CEE (Habitats-Faune-Flore) : Annexe II et V
- Convention OSPAR : Annexe V
- Convention de berne : Annexe III
- Liste des espèces de poissons protégées sur l'ensemble du territoire français national : Article 1

Le Saumon atlantique fait l'objet d'un programme de réintroduction au niveau régional, auquel participe la pisciculture de la Petite Camargue Alsacienne. C'est un poisson migrateur qui remonte le cours du Rhin pour s'y reproduire. Les œufs sont pondus dans le gravier entre novembre et janvier. Au bout de 3 mois, les alevins éclosent et restent encore dans le gravier pour quelques semaines avant d'émerger. Ensuite appelés tacons, ils vont passer en moyenne 1 à 2 ans en rivière avant la smoltification et la migration vers la mer. Après 1 à 3 ans en mer, ils remonteront sur leur lieu d'éclosion pour s'y reproduire.
Le saumon est une espèce préférant les eaux fraiches et bien oxygénées. L'idéal pour les saumons sont des températures allant de 7 à 22°C. Au-delà de 27,8°C, les saumons adultes sont capables de survivre mais avec un stress thermique important. La température léthale maximale est de 33°C. Les stades juvéniles sont beaucoup plus sensibles aux extrêmes de température.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température de l'eau	↗	+ Date d'éclosion avancée permettant une période de croissance plus longue sur l'année - Diminution de la taille des embryons si la température optimale est dépassée - Diminution de l'ovulation chez les femelles - Prolifération des maladies et arrivée de nouveaux pathogènes -/+ Avancée de la date de montaison des adultes, ceux qui remontent trop tard risque de souffrir des températures trop élevées qui consomment plus d'énergie - Baisse du taux d'oxygène dans l'eau
Jours d'été Canicules	↗	- Concentration des individus sur les zones refuges avec compétition inter et intraspécifique - Stress thermique entrainant stress physiologie - Baisse du taux d'oxygène et eutrophisation de l'eau - Mortalité
Débits hivernaux	↗	+ Améliore le recrutement des tacons
Débits estivaux	↘	- Blocage de la migration - Reduction de la surface d'habitat entrainant la concentration des poissons - Mortalité
Fréquence des crues	↗	- Dévalaison forcée - Mort des alevins - Mise en suspension des sédiments qui viennent ensuite colmater le fond du cours d'eau avec un effet négatif sur les œufs/alevins

Les capacités d'adaptation

- Animal mobile qui peut migrer vers des zones refuges.
- Existence d'une plasticité phénotypique.
- Capacité de décalage de l'aire de répartition.

- Existence d'adaptations génétiques, les populations de l'extrême sud de l'aire de répartition supportent mieux les températures élevées.

Les pressions non climatiques

- Pêche : destruction des frayères avec le retournement du substrat lors de la pêche à la mouche, stress pour les individus capturés, braconnage.
- Production d'énergie hydroélectrique : barrages et obstacles sur les cours d'eau, mortalité lors de la dévalaison.
- Espèces exotiques envahissante : compétition, prédation.
- Activités aquatiques : destruction des frayères avec le retournement du substrat, dérangement.
- Urbanisation : rejets de polluants, rejets thermiques, artificialisation des berges, barrages.
- Agriculture : apport en nutriments et polluants.
- Conditions en mer.

Résultat du DVO	Vulnérabilité très forte

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Le saumon pourrait être amené à régresser sur le Vieux Rhin. Les adultes devraient se montrer relativement résilients mais la température de l'eau deviendrait probablement trop élevée pour garantir une croissance et une survie suffisante des juvéniles, même avec les soutiens par alevinage. Néanmoins, le Vieux Rhin pourrait représenter une ultime zone refuge avec le fort risque d'assèchement estival des cours d'eau Haut-Rhinois.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

Cf Fiche transversale : Les espèces animales

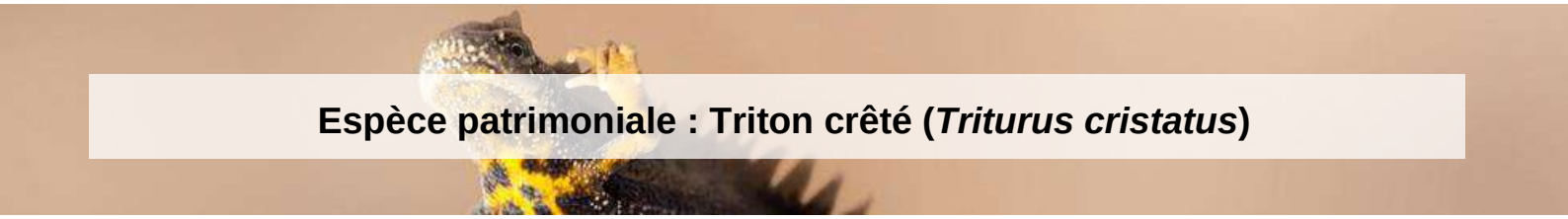
Solutions d'adaptation existantes dans la littérature

- Poursuivre la restauration des cours d'eau pour améliorer leur qualité et leur diversité en habitats ;
- Poursuivre l'amélioration de la continuité écologique ;
- Créer de zones refuges pour la période estivale avec un ombrage important et/ou un apport en eau phréatique ;
- Sensibiliser les pêcheurs et les touristes aux impacts du dérangement sur la faune et au risque de destruction de frayères ;
- Soutenir les populations par des alevinages en favorisant une diversité génétique des individus introduits.

Bibliographie :

Jonsson, B. and Jonsson, N. (2009) 'A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon Salmo salar and brown trout Salmo trutta , with particular reference to water temperature and flow', *Journal of Fish Biology*, (December). doi: 10.1111/j.1095-8649.2009.02380.x.

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (2012) 'Etude Explore 2070 : Vulnérabilité des milieux aquatiques et de leurs écosystèmes : Etude de la répartition des poissons d'eau douce.', p. 81.



Espèce patrimoniale : Triton crêté (*Triturus cristatus*)

Description de l'espèce

Espèce évaluée : LC niveau mondial, LC niveau européen, NT niveau national, NT niveau régional.
Espèce réglementée :
- Directive 92/43/CEE (Habitats-Faune-Flore) : Annexe II et IV
- Convention de Berne : Annexe II
- Liste des amphibiens et des reptiles protégés sur l'ensemble du territoire français et les modalités de leur protection : Article 2

Le Triton crêté vit dans les points d'eau stagnants et utilise aussi les habitats terrestres à proximité tels que les boisements, haies et fourrés. Le triton utilise préférentiellement des mares de 50 à 750 m², allant de 50 cm à 2 mètres de profondeur, permanentes ou temporaires. Les végétaux aquatiques sont très appréciés, notamment comme support de ponte. Une population de triton crêté nécessite généralement 5 à 6 mares séparées par moins d'un kilomètre. L'espèce est également sensible à des variations de la qualité de l'eau et supporte mal les pollutions organiques et la désoxygénation entrainant une modification du pH. Pour la reproduction, le triton favorise des mares de faible étendue et de faible profondeur avec pas ou peu de poissons. En hiver, les tritons se cachent dans des galeries du sols, sous des pierres ou sous des souches. Pour l'estivage, ils utilisent le même type d'abris mais préfèrent les zones restant humides.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	+ Allongement de la période de croissance pour les larves + Prolifération de la végétation aquatique offrant support, abris et nourriture - Les hivers doux risquent de perturber l'hibernation en induisant une consommation des réserves d'énergie en l'absence de nourriture, pouvant causer l'affaiblissement et la mort des individus
Jours d'été Canicules	↗	- Baisse du taux d'oxygène dans l'eau - Prolifération de la végétation flottante pouvant colmater les points d'eau
Eté secs Sécheresses	↗	- Réduction de la surface d'habitat - Fragmentation des habitats - Assèchement des mares temporaires avec mortalité des larves + Assèchement des mares empêche l'installation des prédateurs aquatiques - Concentration des prédateurs tels que les oiseaux sur les points d'eau restants - Eutrophisation des points d'eau - Assèchement des sites d'estivage
Précipitations hivernales	↗	+ Création de nouveaux habitats et nouvelles mares temporaires + Recharge en eau des milieux - Augmentation de l'apport en polluants/nutriments via le ruissellement
Pluies torrentielles	↗	- Lessivage apportant des polluants/nutriments et causant une eutrophisation de l'eau avec un fort impact sur les larves - Mortalité des larves en cas d'inondation violente
Toit de la nappe en été	↘	- Réduction de la surface d'habitat et assèchement des mares phréatiques
Toit de la nappe en hiver	↗	+ Recharge en eau des milieux et création de nouveaux habitats au printemps

Les capacités d'adaptation

- Bonne résilience des adultes.
- Capacité de migration des adultes vers des zones refuges.
- Estivage des adultes lors des sécheresses.

Les pressions non climatiques

- Agriculture : destruction et fragmentation des habitats, obstacles à la migration, drainage, apport en polluants et nutriments.
- Urbanisation : destruction et fragmentation des habitats, apport en polluants, obstacles à la migration.
- Espèces exotiques envahissantes : prédation, compétition.

Résultat du DVO	Vulnérabilité forte

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

La vulnérabilité du triton est surtout liée à la qualité de son habitat. Une augmentation globale de la température pourrait en effet être positive pour la croissance des larves, avec tout de même un risque pour les adultes lors de l'hivernation. Néanmoins, des sécheresses prolongées et à répétition nuiraient fortement à la qualité de l'habitat avec une eutrophisation de l'eau, une baisse du taux d'oxygène et une réduction de leur surface voire un assèchement. Les adultes possèdent une bonne capacité de résilience et peuvent migrer vers des zones refuges, voire estiver. Mais les larves sont beaucoup plus sensibles à la qualité de l'eau et subiraient une mortalité directe avec l'assèchement des habitats, pouvant causer à terme une baisse du recrutement des adultes.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

Cf Fiche transversale : Les espèces animales

Solutions d'adaptation existantes dans la littérature

- Améliorer la continuité écologique entre les plans d'eau ;
- Créer de nouvelles mares avec plusieurs sources d'alimentation en eau (pluie, nappe phréatique, connexion avec un cours d'eau) ;
- Creuser certains mares phréatiques plus profondément pour assurer une présence d'eau permanente ;
- Organiser des chantiers ponctuels de déblaiement des mares pour éviter leur fermeture ;
- En période de forte sécheresse, organiser des opérations de sauvetages pour transloquer les individus vers d'autres milieux aquatiques.

Bibliographie :

Henle, K. et al. (2008) *Climate Change Impacts on European Amphibians and Reptiles, Convention on the conservation of european wildlife and natural habitats.*

Service du patrimoine naturel du MNHN et ONEMA (2015) *Fiches d'information sur les espèces aquatiques protégées : Tritons crêté, Triturus cristatus (Laurenti, 1768).*

Espèce patrimoniale : Vigne sauvage (*Vitis vinifera L. subsp. sylvestris*)

Description de l'espèce

Espèce évaluée : LC en niveau national, EN au niveau régional
Espèce réglementée :
- Liste des espèces végétales protégées sur l'ensemble du territoire français métropolitain : Article 1
- Liste des espèces végétales protégées en région Alsace : Article 1

La Vigne sauvage est une liane dioïque caractéristique des forêts alluviales anciennes et qui ne colonise pas facilement des milieux plus récents et entretenus. La période de végétation s'étale de mars à novembre avec une maturité des raisins en fin d'été. La reproduction sexuée se fait par transport du pollen par le vent et les insectes pollinisateurs. Les baies sont ensuite mangées par les oiseaux et mammifères qui dispersent les graines. Les jeunes plants qui se développent ont besoin d'humidité, puis rapidement d'une perturbation du milieu qui offre de la lumière et qui leur permet de développer des rameaux prenant appuie sur la végétation buissonnante puis grimpant vers la canopée. La vigne peut également se reproduire de façon asexuée, essentiellement par marcottage, qui constituerait même le principal mode de reproduction de cette espèce.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	+ Allongement de la période de végétation - Prolifération/arrivée de nouveaux pathogènes
Eté secs Sécheresses	↗	- Réduction de la surface d'habitats favorables - Impact négatif sur les jeunes pieds de vigne
Précipitations hivernales	↗	+ Création de nouveaux habitats favorables si l'humidité persiste dans le sol
Vents violents	↗	+ Augmentation du nombre de trouées forestières favorables aux jeunes plants - Ecroulement des supports de certains pieds de vigne
Fréquence des crues	↗	+ Augmentation du nombre de trouées forestières favorables aux jeunes plants + Dispersion des graines - Ecroulement des supports de certains pieds de vigne

Les capacités d'adaptation

- Marcottage des pieds adultes s'ils tombent au sol.
- Plusieurs modes de reproduction.
- Plusieurs modes de dispersion des graines.

Pressions non climatiques

- Production d'énergie hydroélectrique : perturbation de la dynamique naturelle des écosystèmes alluviaux.
- Maladies et pathogènes.

Résultat du DVO	Vulnérabilité forte

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Peu d'informations sont disponibles sur cette espèce. A priori la vigne pourrait profiter d'une augmentation de la température et de l'augmentation des évènements extrêmes/perturbateurs qui lui créerait de nouvelles niches à coloniser. Néanmoins, les jeunes plants sont sensibles à la sécheresse et les secteurs favorables pourraient se réduire fortement avec l'assèchement des sols.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

Cf Habitat : Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides.

Solutions d'adaptation existantes dans la littérature

- Favoriser une hétérogénéité dans la structure des forêts ;
- Assurer le maintien des habitats colluviaux ;
- Restaurer des anciens milieux forestiers alluviaux ;
- Lancer un programme conservatoire avec la transplantation des jeunes plants dans des zones favorables.

Bibliographie :

Ferrez, Y. and Lacombe, T. (2017) '*Les vignes sauvages colluviales Vitis vinifera subsp. sylvestris (Gmelin) Hegi dans le massif jurassien, nouvelles données'*, pp. 113–146.

Espèce patrimoniale : Cuivré des marais (*Lycaena dispar*)

Description de l'espèce

Espèce évaluée : NT au niveau mondial, LC au niveau européen, LC au niveau national, NT au niveau régional.
Espèce réglementée :
- Directive 92/43/CEE (Habitats-Faune-Flore) : Annexe II et IV
- Convention de Berne : Annexe II
- Liste des insectes protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection : Article 2

Le Cuivrée des marais est une espèce typique des zones humides ouvertes : prairies humides ou inondables, prés mésophiles, marais et bordures des cours d'eau. Les œufs sont pondus sur les Oseilles sauvages (*Rumex sp*) qui servent aussi d'alimentation aux chenilles. Celles-ci hivernent dans les feuilles à la base du pied et peuvent supporter des immersions de plusieurs semaines. L'espèce a deux générations dans l'année, parfois trois, et vole de mi-mai à septembre. Les adultes ont besoin de plantes nectarifères telles que les menthes et pulicaires pour leur alimentation.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	-/+ Décalage de l'aire de répartition vers le nord - Avancée de la phénologie avec un risque de décalage avec les plantes hôtes + Possibilité d'une 3ème génération dans l'année
Etés secs Sécheresses	↗	- Réduction et fragmentation des habitats - Modification de la composition spécifique des habitats pouvant mener à la perte des plantes hôtes
Précipitations hivernales	↗	+ Gain de nouveaux habitats pour la première génération - Mortalité des chenilles en hibernation submergées trop longtemps
Canicules	↗	- Mortalité des larves
Toit de la nappe en hiver	↗	+ Gain de nouveaux habitats pour la première génération - Mortalité des chenilles en hibernation submergées trop longtemps
Toit de la nappe en été	↘	- Réduction et fragmentation des habitats - Modification de la composition spécifique des habitats pouvant mener à la perte des plantes hôtes

Les capacités d'adaptation

- Bonne capacité de déplacement.
- Adaptations génétiques possibles avec un temps de génération relativement rapide.
- Larves résistantes à la submersion pendant plusieurs semaines.

Pressions non climatiques

- Agriculture : destruction et fragmentation des habitats, pesticides, pompage/drainage de l'eau.
- Urbanisation : destruction et fragmentation des habitats.
- Espèces exotiques envahissantes : prédation, compétition.

Résultat du DVO	Vulnérabilité moyenne

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Une augmentation globale de la température serait favorable au cuivré des marais avec la possibilité d'étendre son aire de répartition vers le nord et d'avoir une 3ème génération en plus dans l'année. Sa vulnérabilité réside dans le maintien de son habitat. Les sécheresses pourraient mener à la réduction des surfaces de prairies humides et à la modification de la composition floristique, avec le risque de perdre les espèces hôtes servant pour la ponte et le nourrissage.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

Cf Fiche transversale : Les espèces animales

Solutions d'adaptation existantes dans la littérature

- Favoriser la continuité écologique entre les milieux prairiaux ;
- Si possible et selon le contexte de gestion, assurer le maintien des prairies humides face aux sécheresses ;
- En période hivernale, éviter si possible la stagnation de l'eau au-dessus de la surface du sol pour ne pas noyer les larves en hibernation.

Bibliographie :

Service du patrimoine naturel du MNHN and ONEMA (2015) *Fiches d'information sur les espèces aquatiques protégées : Cuivré des marais, Lycaena dispar (Haworth, 1802)*.

Settele, J. and all (2008) *Climatic Risk Atlas of European Butterflies.*

Espèce patrimoniale : Œillet superbe (*Dianthus superbus L*)

Description de l'espèce

Espèce évaluée : LC au niveau européen, NT au niveau national, EN au niveau régional.
Espèce réglementée :
- Liste des espèces végétales protégées sur l'ensemble du territoire français métropolitain : Article 2 et Article 3
- Liste des espèces végétales sauvages pouvant faire l'objet d'une réglementation préfectorale permanente ou temporaire : Article 1er

L'Œillet superbe est une plante hémicryptophyte vivace, elle pousse dans les plaines, collines et basses montagnes. Héliophile, cette espèce apprécie les groupements de prairies ou de hautes herbes sur sols argilo-limoneux assez humides, sans toutefois être inondés, mais aussi les forêts claires. La floraison et la fructification ont lieu entre juin et septembre.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	- Conditions devenant non favorables à cette espèce ?
Etés secs Sécheresses	↗	- Réduction de la surface d'habitats favorables - Mortalité des pieds

Les capacités d'adaptation

Non trouvées dans la littérature.

Les pressions non climatiques

- Fermeture des milieux.

Résultat du DVO	Vulnérabilité moyenne ?

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Il y a très peu d'informations sur les préférences écologiques de cette espèce. La température moyenne de l'air pourrait devenir trop chaude pour cette espèce que l'on retrouve habituellement en montagne sous nos latitudes. Cette espèce risque aussi d'être sensible à un assèchement de son milieu. N'existant que sur deux stations très localisées en Petite Camargue, son risque de disparition sur le site est assez élevé.

Les solutions d'adaptation existantes dans la littérature

- Maintenir les milieux en eau via le circuit de gestion de l'eau pour limiter les répercussions des sécheresses ;
- Si les milieux se dégradent, transloquer des pieds vers une zone plus favorable ;
- Lancer un programme conservatoire et réaliser des semis.

Bibliographie :

Conservatoire Botanique National Bassin Parisien. Espèce végétale : Dianthus superbus L., 1755 (2020). Available at: http://cbnbp.mnhn.fr/cbnbp/especeAction.do?action=fiche&cdNom=94833.

Espèce patrimoniale : Blongios nain (*Ixobrychus minutus*)

Description de l'espèce

Espèce évaluée : LC au niveau mondial, LC au niveau européen, EN au niveau national, CR au niveau régional
Espèce réglementée :
- Directive 79/409/CEE (Directive Oiseaux) : Annexe I
- Convention de Bonn : Annexe II
- Convention de Berne : Annexe II
- Liste des espèces de vertébrés protégées menacées d'extinction en France et dont l'aire de répartition excède le territoire d'un département : Article 1er
- Liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection : Article 3

Le Blongios nain est un oiseau fréquentant les roselières des plans d'eau, les marais et les bordures de rivières. Il apprécie également la présence d'arbres tels que les saules et les aulnes. C'est un oiseau migrateur qui se reproduit en Europe entre mai et août et passe l'hiver en Afrique subsaharienne. Il établit son nid dans une végétation dense à proximité directe de l'eau. Une fois leur nid établi, les individus se déplacent peu et pêchent à proximité. Son régime alimentaire repose principalement sur des petits poissons, amphibiens et invertébrés aquatiques.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	-/+ Décalage des dates de migration + Augmentation de l'aire de répartition + Avancée de la phénologie avec possibilité d'une 2nd reproduction dans l'année
Etés secs Sécheresses	↗	- Réduction de la surface d'habitats favorables à la reproduction - Fragmentation des habitats - Réduction de la disponibilité alimentaire - Concentration des individus sur un même site
Indice feu de forêt	↗	- Destruction des habitats et des nichées

Les capacités d'adaptation

- Plasticité phénotypique : ajustement des dates de ponte/éclosion et dates de migration.
- Dispersion aisée avec la capacité de vol.
- Si absence d'habitat optimal, il peut profiter de bassins artificiels dans les milieux urbains.

Les pressions non climatiques

- Agriculture : drainage, destruction et fragmentation des milieux.
- Urbanisation : destruction et fragmentation des milieux.
- Activités touristiques et de loisirs : dérangement, perturbation par des chiens.
- Espèces exotiques envahissantes et espèces régulées : dégâts dans les roselière par les ragondins et les sangliers.
- Conditions sur les sites d'hivernage.

Résultat du DVO	Vulnérabilité moyenne

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Il existe peu d'informations sur les potentiels effets du changement climatique sur cette espèce. A priori, une augmentation globale de la température devrait permettre aux populations de blongios d'étendre leur aire de répartition vers le nord, voire d'hiverner en Europe. Le principal risque climatique est un assèchement des roselières nécessaires à la reproduction durant la période estivale pouvant mener à l'échec de la reproduction. Une augmentation du risque incendie est aussi à prendre en compte, les roselières étant des habitats facilement inflammables.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

Cf Fiche transversale : Les espèces animales

Les solutions d'adaptation existantes dans la littérature :

- Si possible maintenir les roselières en eau durant la période de reproduction du blongios ;
- Créer de nouvelles surfaces de roselières ;
- Sensibiliser le public aux impacts du dérangement ;
- Créer un plan de prévention et d'action à transmettre aux pompiers en cas de départ d'incendie dans les roselières.

Bibliographie :

BirdLife International. (2015) *European Red List of Birds : Ixobrychus minutus*.

Fiche transversale : Mesures d'adaptation pour les espèces animales

Au niveau de la réserve, l'objectif est, dans un premier temps, d'agir sur la conservation et le bon fonctionnement des habitats pour aussi maintenir indirectement les espèces animales. Il n'y a pas de mesures d'adaptation ciblées sur une espèce précise, mais des mesures plus générales de protection de la faune, listées ci-dessous, continueront à être appliquées et développées.

→ Améliorer la continuité écologique :

- Réaliser une cartographie détaillée des corridors écologiques existants et des zones refuges potentielles aux alentours de la réserve ;
- Etablir des partenariats avec les agriculteurs, les agglomérations et les pays voisins pour améliorer la Trame verte et bleue sur le territoire (cf. Réduire les pressions non climatiques) ;
- Améliorer la continuité écologique dans la réserve, notamment en connectant au maximum les milieux ouverts et aquatiques ;
- Selon les moyens disponibles, assurer l'entretien des corridors de haies dans les premières années de leur plantation pour éviter l'envahissement par les EEE et le broutage par les herbivores.

→ Créer des zones refuges :

- Creuser des mares phréatiques plus profondes pour qu'elles restent en eau plus longtemps, voire deviennent permanentes ;
- Poursuivre la restauration et la remise en eau des annexes du Vieux Rhin pour favoriser les remontées phréatiques ;
- En bordure d'eau, laisser quelques arbres pour créer des zones ombragées tout en évitant une trop forte densité de végétation qui pourrait causer une eutrophisation par accumulation de matière végétale dans l'eau ;
- Dans les milieux terrestres les plus exposés, laisser quelques zones de haies pour créer des zones plus fraiches.

→ Agir sur des facteurs de mortalité :

- S'associer avec d'autres acteurs pour demander l'installation de dispositifs de dévalaison sur les centrales d'EDF ;
- Continuer à organiser des opérations de sauvetage de la faune aquatique lors des fortes sécheresses ;
- Diffuser les bonnes pratiques de fauche estivale pour réduire la mortalité de la faune (exemples de bonnes pratiques) ;
- Travailler avec des acteurs extérieurs pour réduire les pressions annexes et créer des zones refuges pour la faune (cf. Pressions non climatiques) ;
- En période de veille sanitaire, signaler les animaux sauvages morts sans cause extérieure visible à l'OFB pour contrôler l'apparition de maladie.

→ Anticiper le changement climatique :

- Lister les espèces en limite sud et nord d'aire de répartition pour anticiper les futures apparitions et disparitions.

→ Dans un futur plus lointain et selon la réponse de la biodiversité au changement climatique :

- *Transloquer des espèces au sein de la réserve si un milieu isolé est menacé de disparition ;*
- *Transloquer les espèces de la réserve en limite sud d'aire de répartition sur des sites plus au nord ;*
- *Transloquer des espèces en limite nord d'aire de répartition dans la réserve pour remplacer une autre espèce vouée à disparaitre et ayant un même rôle écologique ;*

- *Pour les espèces patrimoniales présentes et devant persister mais aux populations réduites/fragmentées, assurer un soutien en introduisant des individus de différents génotypes pour améliorer la diversité génétique et la capacité d'adaptation.*

Espèce régulée : Sanglier d'Europe (*Sus scrofa*)

Description de l'espèce

Espèce évaluée : LC niveau mondial, LC niveau européen, LC niveau national, LC niveau régional
Espèce réglementée :
- Liste des espèces de gibier dont la chasse est autorisée : Premier

Le Sanglier est un mammifère indigène qui vit en troupes de 6 à 20 individus en moyenne et qui se rencontre dans tous types d'habitats. Omnivore et fouisseur, il mange beaucoup de végétaux, champignons, petits animaux morts ou vivants et invertébrés. La reproduction est corrélée à la disponibilité alimentaire et aux facteurs climatiques. Les jeunes peuvent être particulièrement sensibles aux conditions post-natales dans les premiers jours car ils ont une thermorégulation encore imparfaite. Les effectifs de sangliers ont augmenté sur l'ensemble de l'Europe. En dehors de l'Homme, le loup est le seul prédateur naturel du sanglier en France. La chasse est vue comme un moyen de régulation des populations mais qui ont parfois des effets contraires d'accroissement des populations dus à la conservation des animaux reproducteurs. Les sangliers sont capables de s'adapter à la pression qu'est la chasse et trouvent refuge dans des secteurs tels que les friches industrielles et les zones protégées. Ils peuvent alors causer des dégâts importants, notamment sur les cultures et servir de relai ou de réservoir pour de nombreuses maladies. Des dégâts sont également observés au niveau de la réserve, notamment avec un retournement des prairies.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	+ Augmentation de la disponibilité alimentaire avec une période de végétation plus longue + Avancée des dates de reproduction, voire reproduction possible toute l'année + Moins de risques de mortalité due aux conditions thermiques pour les jeunes en hiver
Canicules	↗	- Réduction du taux de croissance des populations - Stress thermique

Les capacités d'adaptation

- Espèce généraliste et opportuniste avec une plasticité phénotypique importante.
- Portées importantes, jusqu'à 10 petits.
- Réduction de la taille des individus dans les zones au climat chaud pour limiter le stress-thermique.

Les pressions non climatiques

- Activités de chasse et de régulation.
- Maladies et pathogènes.
- Urbanisation : destruction des habitats, collisions avec les véhicules.
- Activités touristiques et de loisirs : dérangement.

Résultat du DVO	Opportunité forte

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Le changement climatique sera probablement bénéfique au sanglier. De par son caractère généraliste et opportuniste, c'est une espèce qui résiste bien aux aléas climatiques. Une augmentation globale de la température, notamment en

hiver, assurera une meilleure survie des juvéniles et une disponibilité alimentaire plus importante avec un effet positif sur la croissance des populations. Des étés très chauds pourraient éventuellement freiner cette croissance dans un premier temps en induisant un stress thermique. Néanmoins, l'espèce serait capable de s'adapter avec une réduction de la taille des individus pour limiter ce stress thermique sur le long terme.

Pistes de lutte envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

Cf Outils et moyen de gestion : Régulation des sangliers

Bibliographie :

ONCFS (2019) *Le Sanglier (Sus scrofa)*. Available at: http://www.oncfs.gouv.fr/Connaitre-les-especes-ru73/Le-Sanglier-ar994.

Vetter, S. G. *et al.* (2015) 'The burst of wild boar populations in Europe : how local adaptation mediates the effects of climate change in a widespread ungulate', *PLoS ONE*, 10(7). doi: 10.1371/journal.pone.0132178.

EEE : Séneçon du cap (*Senecio inaequidens*)

Description de l'espèce

Espèce évaluée : NA au niveau national et régional
Espèce réglementée/statuts :
- OEPP : List of invasive alien plants, 2004

Le Séneçon du Cap est une herbacée vivace originaire d'Afrique du Sud introduite accidentellement en Europe à la fin du 19ème siècle. Le séneçon fleurit du printemps à l'automne, mais peut fleurir toute l'année dans le sud de la France. Un pied produit de 10 000 à 30 000 akènes qui sont ensuite disséminés par le vent. Ces akènes sont capables de survivre deux ans des conditions sèches de stockage et germent dans une gamme de températures allant de 14 à 30°C. Le séneçon apprécie les milieux rudéraux, les affleurements rocheux et les dunes de sable. Néanmoins, c'est une espèce opportuniste qui peut aussi coloniser des forêts et steppes tempérées, des milieux sclérophylles et tout type de milieux ouverts perturbés. Il se développe particulièrement bien dans des milieux bien drainés et ensoleillés. Le séneçon supporte des températures allant de -15°C à +35°C et des précipitations annuelles de 500 à 1000 mm. Pour l'instant, aucun effet négatif sur la biodiversité locale n'a été documenté, mais cette plante est de plus en plus présente sur les zones de prairies en bordure du Petit Rhin dans la réserve.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	+ Augmentation de l'aire de répartition + Floraison sur une période plus longue
Précipitations hivernales	↗	+ Favorise la croissance + Favorise le bouturage des tiges couchées au sol
Aléas climatiques divers	↗	+ Création de milieux bouleversés favorables à l'implantation du séneçon

Les capacités d'adaptation

- Espèce opportuniste.
- Production d'une grande quantité de graines facilement dispersables.
- Production d'alcaloïdes la rendant toxique pour les herbivores.
- Reproduction asexuée par bouturage.
- Survie des graines au-delà d'une année.

Les pressions non climatiques

- Compétition avec les plantes indigènes sur lesquelles il n'a pas forcément le dessus.

Résultat du DVO	Opportunité très forte

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Le séneçon du Cap sera favorisé par le changement climatique. L'augmentation de la température lui permettra d'étendre son aire de répartition et de fleurir toute l'année et les hivers humides favoriseront la croissance des pieds.

Cette plante risque donc de proliférer, notamment sur des milieux subissant des perturbations ou sur les zones pâturées car le bétail n'apprécie pas forcément le séneçon qui peut être toxique.

Pistes de lutte envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

Cf Outils et moyens de gestion / Pression non climatique : La lutte contre les espèces végétales invasives

Les solutions de lutte existantes dans la littérature

- Arracher le maximum de pieds et les évacuer ;
- Faucher avant la montée en graine pendant plusieurs années de suite ;
- Planter des espèces natives couvrantes dans les zones bouleversées pour ne pas laisser les sols à nu.

Bibliographie :

Heger, T. (2014) *Invasive Species Compendium : Senecio inaequidens (South African ragwort)*. Available at: https://www.cabi.org/isc/datasheet/49557.

Monty, A. (2016) *Centre de ressources Espèces Exotiques Envahissantes : Senecio inaequidens*. Available at: http://especes-exotiques-envahissantes.fr/espece/senecio-inaequidens/#1460369323727-af42a43e-c75b.

Val'hor (2017) 'Senecio inaequidens DC.', *Code de conduite Plantes envahissantes*. doi: 10.1007/978-1-4614-0539-9_336.

EEE : Arbre à papillons (*Buddleja davidii*)

Description de l'espèce

Espèce évaluée : NA au niveau national et régional.
Espèce réglementée/statuts :
- Espèce introduite envahissante en France métropolitaine

L'Arbre à papillons est une espèce buissonnante, voire arborescente, à feuilles semi-persistantes. Originaire de Chine, il a été introduit au 19ème siècle comme plante d'ornement et est aujourd'hui présent dans une bonne partie de l'Europe. Sa distribution est limitée par des conditions trop rudes en hiver et trop sèches/chaudes en été. Sa croissance est rapide, pouvant aller de 0,5 à 2 mètres par an. C'est une espèce opportuniste, colonisant aussi bien les milieux naturels que les milieux rudéraux et qui tolère une large gamme de conditions physiques. La floraison a lieu de la fin du printemps jusqu'au milieu de l'automne et dépend des insectes pour la pollinisation, attirant ainsi de nombreux papillons et autres pollinisateurs. Les graines sont libérées au début du printemps et nécessitent une température de minimum 6°C pour germer. Les capsules projettent les graines jusqu'à 10 mètres autour du pied mère et les graines peuvent également être transportées par l'eau. Un seul pied peut produire de 300 000 à 1 million de graines. De la reproduction asexuée peut également se faire par des fragments de racines et de tiges. L'arbre à papillons entre en compétition avec les espèces locales, comme par exemples avec les saules et les peupliers en bordure des cours d'eau.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	+ Période de végétation plus longue + Moins de mortalité durant l'hiver + Extension de l'aire de répartition vers le nord
Etés secs Sécheresses	↗	- Stress hydrique - Mort des jeunes plants de moins de 4 semaines
Pluies torrentielles	↗	+ Transport des graines
Vents violents	↗	+ Transport des graines + Création de nouvelles niches à coloniser avec destruction milieux
Fréquence des crues	↗	+ Transport des graines + Création de nouvelles niches à coloniser avec destruction milieux

Les capacités d'adaptation

- Espèce généraliste.
- Croissance rapide.
- Nombreuses graines dispersées par projection, vent et eau.
- Reproduction asexuée.
- Période juvénile courte avec reproduction au bout de 1 à 2 ans pour une durée de vue d'une vingtaine d'années.

Les pressions non climatiques

- Herbivorie.

Résultat du DVO	Opportunité très forte

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

En tant qu'espèce opportuniste, l'arbre à papillons devrait profiter du changement climatique. Une augmentation de la température lui permettra d'avoir une période de végétation plus longue et de moins souffrir du froid en hiver. Les divers aléas climatiques et perturbations créeront également des nouvelles niches facilement colonisables pour cette espèce. Néanmoins, sensible aux températures extrêmes chaudes et aux sécheresses, sa prolifération pourrait devenir limitée dans les milieux les plus exposés à ces facteurs climatiques.

Pistes de lutte envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

Cf Outils et moyens de gestion / Pression non climatique : La lutte contre les espèces végétales invasives

Les solutions de lutte d'adaptation existantes dans la littérature

- Arracher les jeunes pieds ;
- Couper les branches avant la montée en graine pour réduire la prolifération ;
- Créer des enclos avec des caprins sur les zones fortement colonisées.

Bibliographie :

Ebeling, S. and Tallent-Halsell, N. G. (2009) *Invasive Species Compendium : Buddleja davidii (butterfly bush)*. Available at: https://www.cabi.org/isc/datasheet/10314.

Tallent-Halsell, N. G. and Watt, M. S. (2009) 'The invasive Buddleja davidii (Butterfly Bush)', *Botanical Review*, 75(3), pp. 292–325. doi: 10.1007/s12229-009-9033-0.

EEE : Robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia*)

Description de l'espèce

Espèce évaluée : LC au niveau mondial, NA au niveau national et régional
Espèce réglementée/statuts :
- Espèce introduite envahissante en France métropolitaine

Le Robinier faux-acacia est un arbre de 12 à 18 mètres de hauteur originaire d'Amérique du Nord. Introduit en Europe au cours du 17ème siècle, il a été activement planté pour la foresterie. Initialement, cette espèce se trouve dans les forêts tempérées fraiches ou chaudes et dans des forêts de montagne. En Europe, le robinier colonise tout type d'habitats perturbés et peut également envahir les milieux de prairies sèches. La floraison a lieu en mai/juin, dès la 3ème année de la vie de l'arbre qui est pollinisé par les insectes. Les graines sont dispersées de septembre à avril par l'ouverture des fruits sur les arbres. Les robiniers peuvent également se reproduire de manière asexuée en produisant des rejets depuis la souche et les racines, notamment après avoir été endommagés ou coupés. Le robinier produit des racines superficielles largement diffusées dans le sol, parfaites pour l'accroche, mais il est aussi capable de produire des racines pouvant aller jusqu'à 7 mètres de profondeur et des racines radiales faisant de 1 à 1,5 fois la taille de l'arbre. Cette espèce tolère une gamme de températures allant de -12°C à +40°C et des précipitations annuelles de 700 à 2000 mm. Des sécheresses de 4 mois peuvent être tolérées, mais au-delà la mortalité est importante. Sa préférence écologique va à des sols plutôt humides, mais pour autant il ne tolère pas les sols stockant de l'eau. Le robinier a un impact important sur la biodiversité locale en empêchant les espèces natives de pousser.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	+ Augmentation de la période de végétation + Augmentation de l'aire de répartition avec renforcement du pouvoir invasif
Vents forts	↗	+ Création de trouées favorables à l'installation du robinier - Mort des individus vétérans
Fréquence des crues	↗	+ Création de trouée favorables à l'installation du robinier + Transport de branches pouvant se bouturer
Etés secs Sécheresses	↗	+ Renforce le pouvoir compétitif de l'espèce + Développement de racines profondes - Disparation du robinier dans les zones les plus soumises à la sécheresse
Toit de la nappe en hiver	↗	- Impact négatif sur les individus se retrouvant avec des racines immergées en hiver

Les capacités d'adaptation

- Espèce généraliste.
- Grand potentiel de reproduction avec reproduction sexuée et asexuée.
- Espèce compétitive.
- Plasticité phénotypique avec un développement des racines en période de sécheresse.
- Stimulation de la reproduction si l'arbre est brouté/coupé.

Les pressions non climatiques

- Maladies et insectes.

Résultat du DVO	Opportunité moyenne

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Le robinier faux-acacia profitera du changement climatique, une augmentation de la température de l'air lui serait favorable. De plus, les aléas climatiques comme les tempêtes/crues et la mortalité importante des espèces d'arbres indigènes suite aux sécheresses lui offriraient de nouvelles niches à coloniser. Il pourrait supplanter les arbres locaux par sa capacité à développer des racines profondes en période de sécheresse. Cette espèce pourrait tout de même être exclue des zones les plus fortement soumises aux sécheresses, qui empêcheraient l'implantation des jeunes arbres, et des zones noyées par une remontée de la nappe phréatique en hiver.

Pistes de lutte envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

Cf Outils et moyens de gestion / Pression non climatique : La lutte contre les espèces végétales invasives

Les solutions de lutte existantes dans la littérature :

- Arracher les jeunes pieds ;
- Coupler les actions mécaniques type abattage d'un arbre ou écorçage de la base du tronc à un moyen chimique pour induire la mort du pied et éviter de stimuler la reproduction asexuée ;
- Créer des enclos avec des chèvres sur les zones avec des arbres de faible hauteur ;
- Les zones uniquement colonisées par les robiniers peuvent être passées au bulldozer pour arracher les pieds en profondeur, mais la parcelle doit ensuite être gérée pour éviter la recolonisation par les robiniers.

Bibliographie :

Doroftei M., Mierla M., Petras-Sackl T., Menegalija T., M. (2012) 'HABIT-CHANGE Management practices for invasive species in Danube Delta Biosphere Reserve (Romania) and Triglav National Park (Slovenia)', *Habit-Change repport*, 1(3), p. 116.

Invasive Species Compendium : Robinia pseudoacacia (black locust) (2019). Available at: https://www.cabi.org/isc/datasheet/47698.

Kleinbauer, I. *et al.* (2010) 'Climate change might drive the invasive tree Robinia pseudacacia into nature reserves and endangered habitats', *Biological Conservation*, 143(2), pp. 382–390. doi: 10.1016/j.biocon.2009.10.024.

Nadal-Sala, D. *et al.* (2019) 'Global warming likely to enhance black locust (Robinia pseudoacacia L.) growth in a Mediterranean riparian forest', *Forest Ecology and Management*. Elsevier, 449(April), p. 117448. doi: 10.1016/j.foreco.2019.117448.

EEE : Solidage du Canada (*Solidago canadensis*)

Description de l'espèce

Espèce évaluée : NA au niveau national et régional
Espèce réglementée :
- Espèce introduite envahissante en France métropolitaine

Le Solidage du Canada est une plante herbacée monoïque pouvant atteindre 2 mètres de hauteur. Il a été introduit au 17ème siècle en Europe comme plante ornementale. Il fleurit entre juillet et octobre, avec une pollinisation par les insectes, puis produit jusqu'à 20 000 akènes qui sont dispersés 6 semaines après la floraison et jusqu'en hiver par le vent et les animaux. Les graines germent très facilement et peuvent survivre pendant 2 ans. Le solidage se reproduit aussi de façon asexuée via les rhizomes souterrains. Chaque rhizome produit 10 à 50 bourgeons qui donneront des tiges épigées l'année suivante. C'est une espèce colonisatrice pionnière qui tolère une large gamme de sols mais qui a une préférence pour les sols humides, plus rarement pour les sols très secs. Elle est intolérante à l'ombrage mais peut quand même se développer dans des zones boisées soumises à perturbations. Une fois implanté, le solidage forme des groupements monospécifiques très denses empêchant la croissance des espèces végétales indigènes et diminuant la diversité des pollinisateurs indigènes.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	+ Augmentation de la période de végétation + Augmentation de la production de biomasse + Augmentation de la reproduction asexuée par les rhizomes pour devenir plus compétitif + Augmentation de la biomasse racinaire et diminution de la biomasse foliaire, permettant une meilleure efficacité dans l'utilisation de l'eau et des nutriments
Canicules	↗	- Baisse de la production de biomasse - Impact persistant sur la capacité photosynthétique

Les capacités d'adaptation

- Croissance rapide.
- Forte capacité de reproduction et de dispersion.
- Longue durée de vie des pieds.
- Reproduction asexuée.
- Grande variabilité génétique.
- Pouvoir allélopathique.

Les pressions non climatiques

- Herbivorie dans son aire d'origine, mais peu en Europe.

Résultat du DVO	Opportunité très forte

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation :

L'augmentation globale de la température devrait stimuler la croissance et la productivité du solidage, renforçant alors son pouvoir invasif, notamment en début de saison de végétation. Son développement pourrait néanmoins être limité par des canicules, un stress-thermique important impactant directement la productivité sur le long terme. Cette espèce serait donc exclue des zones de la réserve les plus soumises au stress-thermique, comme les prairies sèches, mais resterait extrêmement invasive sur les milieux plus mésiques ou humides.

Pistes de lutte envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

Cf Outils et moyens de gestion / Pression non climatique : La lutte contre les espèces végétales invasives

Les solutions de lutte existantes dans la littérature

- Arrachage manuel des pieds ;
- Faucher avant la floraison, si possible deux fois dans l'année ;
- Recouvrir les zones monospécifiques avec une bâche noire ;
- Faire pâturer par le bétail.

Bibliographie :

Cao, Y. *et al.* (2018) 'Simulated warming enhances biological invasion of Solidago canadensis and Bidens frondosa by increasing reproductive investment and altering flowering phenology pattern', *Scientific Reports*, 8(1), pp. 1–8. doi: 10.1038/s41598-018-34218-9.

Popay, I. and Parker, C. (2019) *Invasive Species Compendium : Solidago canadensis (Canadian goldenrod)*. Available at: https://www.cabi.org/isc/datasheet/50599#tosummaryOfInvasiveness.

Wang, D. *et al.* (2016) 'Timing effects of heat-stress on plant ecophysiological characteristics and growth', *Frontiers in Plant Science*, 7(NOVEMBER2016), pp. 1–11. doi: 10.3389/fpls.2016.01629

EEE : Renouée du Japon (*Fallopia japonica*)

Description de l'espèce

Espèce évaluée : NA au niveau national et régional
Espèce réglementée :
- Espèce introduite envahissante en France métropolitaine

La Renouée du Japon est une plante vivace de 1 à 4 mètres de hauteur à tiges annuelles. Elle a été introduite en Europe au cours du 19ème siècle comme plante ornementale. Elle fleurit de juin à août et produit des akènes, mais la reproduction se fait essentiellement par multiplication végétative via des fragments de rhizomes et par bouture des tiges. Cette espèce forme des peuplements monospécifiques très denses qui vont coloniser les berges des cours d'eau, lisières forestières, friches et terrains vagues. Ces peuplements empêchent la croissance des ligneux indigènes. En revanche, la renouée a plus de difficulté à s'implanter dans un milieu non ouvert et ombragé.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	+ Allongement de la période de végétation
Etés secs Sécheresses	↗	- Stress hydrique
Fréquence des crues	↗	+ Création de nouvelles niches vacantes + Favorise la dispersion des fragments de tige
Vents violents	↗	+ Création de nouvelles niches vacantes

Les capacités d'adaptation

- Reproduction asexuée.
- Espèce généraliste et compétitrice.
- Croissance rapide.
- Pouvoir allélopathique.

Les pressions non climatiques

Non connues en dehors de son aire de répartition d'origine.

Résultat du DVO	Opportunité forte

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Peu d'informations sont disponibles sur les effets du changement climatique sur cette espèce. Néanmoins, la hausse des aléas climatiques tels que les vents violents et les crues seraient favorables à la dispersion de la renouée et à la création d'habitats perturbés facilement colonisables.

Pistes de lutte envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

Cf Outils et moyens de gestion / Pression non climatique : La lutte contre les espèces végétales invasives

Les solutions de lutte existantes dans la littérature :

- Faucher plusieurs fois dans l'année jusqu'à épuisement des pieds ;
- Arracher en début de phase de colonisation lorsque la population est encore réduite ;
- Planter des espèces de ligneux indigènes dans les zones riveraines perturbées pour limiter la croissance de la renouée ;
- Inondation permanente des zones à renouées ;
- Faire pâturer par des chèvres au début de la phase de végétation.

Bibliographie :

Shaw, D. (2019) *Invasive Species Compendium : Fallopia japonica (Japanese knotweed)*. Available at: https://www.cabi.org/isc/datasheet/23875.

Outils et moyens de gestion : Bétail

Description

La réserve naturelle possède 3 troupeaux de vaches Highlands, deux sur le cœur de la réserve et un sur l'Ile du Rhin, ainsi qu'un troupeau de chevaux Koniks Polski en association avec les vaches sur l'Ile du Rhin. Ces deux races ont été choisies pour leur rusticité car elles sont capables de rester dehors toute l'année et de supporter des conditions rudes. De plus, les vaches Highland sont particulièrement adaptées au pâturage dans les milieux humides.
Les deux troupeaux du cœur de la réserve sont en rotation sur l'année sur plusieurs prés, alors que les animaux sur l'Ile du Rhin sont laissés en autonomie sur une grande zone de pâture. Les deux troupeaux du cœur de la réserve reçoivent des apports en foin tous les jours durant l'hiver jusqu'à ce que la quantité d'herbe disponible soit denouveau jugée suffisante. Une tournée de surveillance est faite au moins une fois par semaine pour s'assurer de la bonne santé des animaux.
Sur demande d'EDF, un prestataire extérieur fait également pâturer un mélange de chèvres et de moutons sur l'Ile du Rhin sur des zones soumises à l'envahissement par les ligneux, en dehors de l'enclos des vaches et chevaux. Le soin et la surveillance de ces animaux est assuré par le prestataire.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	- Arrivée de nouveaux pathogènes - Allongement de la période de présence des insectes types mouches, moustiques et tiques + Réduction du stress thermique dû au froid en hiver
Précipitations hivernales	↗	- Risque accru de pathologies liées à l'humidité - Perte d'une partie du foin donné qui se retrouve piétiné dans la boue
Canicules	↗	- Stress thermique - Risque de mortalité accru chez les animaux fragiles (bêtes âgées, veaux)
Etés secs Sécheresse	↗	- Réduction de la nourriture disponible pour les animaux - Impact sur la fertilité des animaux si les manques de nourriture sont réguliers
Vents violents	↗	- Risque pour les animaux si ceux-ci restent sous les arbres

Les capacités d'adaptation

- Races rustiques qui résistent à une large gamme de conditions.
- Déplacement des animaux en période de canicule vers des zones plus fraiches type forêts/eau.
- Décalage des heures de fourragement en période de canicule.
- Perte du pelage chez les Highlands en période chaude.

Les pressions non climatiques

- Insectes, pathogènes, maladies.
- Taille limitée des zones de pâturage.

Résultat du DVO	Vulnérabilité moyenne

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Les animaux appartenant à la Petite Camargue Alsacienne sont des races rustiques plus amènes à s'adapter au changement climatique que d'autres races. Néanmoins, la hausse des températures en période estivale et les canicules plus fréquentes pourraient impacter la santé des animaux en leur causant un stress thermique et un risque de mortalité pour les animaux faibles. Ce stress thermique pourrait en plus être associé à des carences alimentaires en période de sécheresses prolongées, voire à un risque d'intoxication lorsque les animaux se rabattent sur les espèces végétales habituellement non mangées et pouvant être toxiques comme le Séneçon du cap (Seif, Johnson, and Lippincott 1979) (Delerue 2019). Les hivers plus humides pourraient rendre les conditions plus inconfortables avec des animaux régulièrement exposés aux pluies et qui stationnent dans des sols boueux. Cela pourrait causer une hausse des maladies et des pathologies au niveau des sabots (Genoux et al. 2020). Les températures hivernales plus douces, bien que favorables pour les bêtes, seront aussi associées à une meilleure survie des insectes nuisibles et à l'arrivée de nouvelles espèces avec un risque accru de transmission de maladies aux animaux. L'augmentation des stress liés à divers facteurs climatiques et la réduction de la disponibilité alimentaire durant la période estivale pourrait à terme impacter la reproduction des animaux et créer une possible baisse de la fertilité (Chase 2007).

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ **S'assurer de la bonne santé des animaux en période estivale :**

- Apporter du foin aux animaux lors des sécheresses prolongées ;
- Apporter des compléments alimentaires aux animaux les plus fragiles ;
- Faire des tournées de contrôles plus régulières lors des périodes de fortes chaleurs pour s'assurer de la bonne santé des animaux ;
- S'assurer que les animaux aient accès à une eau courante relativement propre pour éviter des répercussions sur leur santé de la consommation d'une grande quantité d'eau stagnante de mauvaise qualité en période de sécheresse/canicule, ou leur apporter de l'eau via des cuves.

→ **Améliorer le confort durant les hivers humides :**

- Poursuivre le paillage des zones autour des abris/mangeoires pour limiter la formation de bourbiers ;
- Envisager la construction d'abris plus grands pour placer les mangeoires à l'abris de la pluie, réduisant la formation de bourbiers et les pertes de fourrage qui, une fois tombé au sol, se retrouve mélangé à la boue et n'est plus consommé ;
- Continuer à surveiller les signes d'apparition de pathologie chez les animaux.

→ **Réduire l'impact sur la santé des animaux des parasites :**

- Envisager de traiter les animaux contre les parasites si la pression augmente/devient constante sur l'année en utilisant des produits naturels pour réduire les répercussions sur les organismes coprophages.

→ ***Dans un futur plus lointain si les animaux actuels souffrent trop des nouvelles conditions :***

- *En gardant les mêmes espèces, faire venir des individus de populations élevées plus au sud et déjà adaptés aux conditions climatiques futures ;*
- *Si les espèces actuelles ne supportent pas les nouvelles conditions climatiques, réfléchir à des nouvelles espèces rustiques plus adaptées en remplacement.*

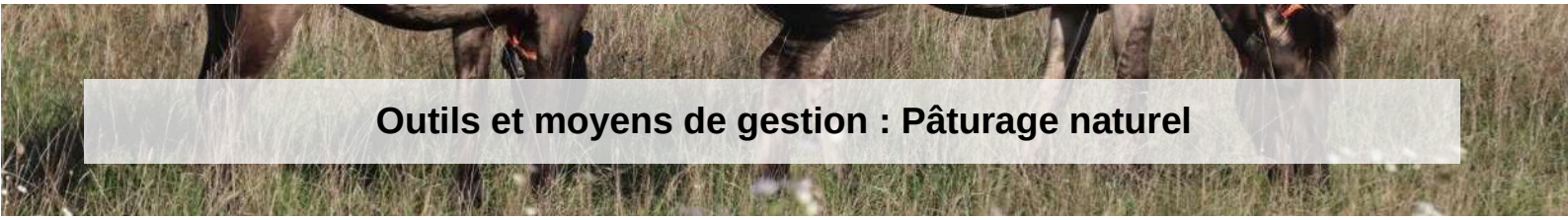
Bibliographie :

Chase, Larry E. 2007. "Climate Change Impacts on Dairy Cattle (USA)." Climate Change and Agriculture : Promoting Practical and Profitable Responses 17–23.

Delerue, Marie. 2019. “Equipedia - Les Maux de l’été.” Retrieved July 20, 2020 (https://equipedia.ifce.fr/sante-et-bien-etre-animal/maladies/autres-maladies/les-maux-de-lete).

Genoux, Nelly, Laetitia Marnay, Marie Delerue, and James Etiemble. 2020. “Equipédia - Maux de l’hiver : Vigilance Accrue !” Retrieved July 20, 2020 (https://equipedia.ifce.fr/sante-et-bien-etre-animal/maladies/autres-maladies/maux-de-l-hiver-vigilance-accrue).

Seif, Johnson, and Lippincott. 1979. “The Effets of Heat Exposure on Zebu and Scottish Highland Cattle.” 23(1):9–14.



Outils et moyens de gestion : Pâturage naturel

Description

Le pâturage naturel par le bétail est utilisé pour maintenir les milieux ouverts, notamment sur les zones de prairies humides sur lesquelles des actions mécaniques répétées seraient néfastes. Sur le cœur de la réserve, les durées des rotations se font au jugé selon la repousse de la végétation et l'effet voulu sur les plantes invasives. La durée de pâturage peut aussi être réduite selon la pression de piétinement des vaches sur les zones humides.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	+ Allongement de la période de végétation, le nourrissage des animaux est alors nécessaire sur une période moins longue en hiver -/+ Décalage de la phénologie de la végétation et de la faune -/+ Arrivée de nouvelles espèces dans les prairies
Précipitations hivernales	↗	-/+ Augmentation de la production de biomasse au début de la période de végétation - Sols plus humides risquant d'être plus sensibles au piétinement
Etés secs Sécheresses	↗	- Stress supplémentaire sur la végétation pâturée
Canicules	↗	- Modification du comportement de pâturage des animaux, avec le délaissement de certaines zones et une pression accrue sur d'autres zones

Les capacités d'adaptation

- Date et durée des rotations sur le cœur de la réserve.
- Nombre d'animaux.

Les pressions non climatiques

- Comportement des animaux et préférences nutritives.
- Phénologie de la faune/flore pouvant être sensible au dérangement par le bétail.

Résultat du DVO	Vulnérabilité faible

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Les prairies pourraient voir leur productivité varier au cours de l'année, la production de biomasse sera accrue en début de saison suite aux hivers humides puis la productivité sera à la baisse durant les sécheresses estivales prolongées. La pression de pâturage par le bétail pourrait ne plus être optimale. En début de saison de végétation, la pression pourrait devenir insuffisante, les animaux mangeant préférentiellement les plantes les plus attractives gustativement et énergétiquement et délaissant alors d'autres espèces, dont les invasives, qui pourront proliférer. Durant les périodes de sécheresses estivales, la pression de pâturage couplée aux stress hydrique et thermique subis par les plantes pourraient causer la régression des espèces les plus sensibles. La quantité de biomasse risque également de devenir insuffisante pour assurer le nourrissage des animaux. Le comportement de ceux-ci pourrait également être amené à évoluer, notamment en période de canicule où ils risquent de délaisser les zones trop exposées à la chaleur et de surpâturer dans les zones ombragées ou en bord d'eau.

Une augmentation des précipitations de l'automne au printemps donnera un sol plus meuble qui sera beaucoup plus sensible au piétinement. Des bourbiers risquent d'être créés dans les zones régulièrement fréquentées par les animaux, comme autour des abris ou sur les cheminements qu'ils créent dans les pâturages. Cela entrainerait une mortalité de la végétation dormante et la formation d'un sol à nu qui sera colonisé par des plantes rudérales au printemps.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ S'adapter aux variations de la production de biomasse :

- Continuer et adapter le suivi pâturage sur les différents prés pour estimer si la pression est adaptée ou non et créer des placettes permanentes de végétation ;
- Si besoin, revoir la composition des troupeaux en ajoutant/enlevant des animaux ou en créant un 3ème troupeau sur le cœur de la réserve ;
- Si besoin, faire intervenir des prestataires extérieurs lors du pic de biomasse : prêt d'animaux supplémentaires et installation d'enclos mobiles ;
- Créer des enclos mobiles dans les enclos permanents pour accentuer/limiter la pression de pâturage sur une zone précise d'un pré ;
- En période de sécheresse, créer des exclos autour de la végétation sensible pour ne pas imposer un stress supplémentaire.

→ Réduire l'impact du piétinement avec les hivers humides :

- Créer des exclos autour de la végétation d'intérêt qui pourrait souffrir du piétinement.

Outils et moyens de gestion : Fauche mécanique des prairies et pelouses

Description

Le fauchage mécanique des pelouses sèches et des prairies humides non pâturées se fait une fois dans l'année durant l'hiver. Cela permet de bloquer la succession écologique en évitant l'installation des ligneux et l'enrichissement des milieux par la dégradation de la biomasse végétale. Sur les prairies sèches, la fauche se fait à la motofaucheuse et en utilisant une andaineuse lorsque c'est possible pour faciliter l'évacuation de la matière coupée. Sur les prairies humides, elle se fait à la débrousailleuse et la matière est évacuée manuellement au râteau et à la fourche. Une fauche peut éventuellement se faire en complément du pâturage sur les prairies humides lorsque les ligneux et/ou des espèces invasives commencent à prendre le dessus.
L'entretien des prairies mésophiles, servant de prés de fauche, se fait au tracteur avec un hersage au printemps pour favoriser la pousse de l'herbe et la fenaison en début d'été. Des semis peuvent éventuellement être réalisés sur ces prairies, notamment lorsqu'elles doivent être restaurées.
Les zones de prairies à faucher étant nombreuses et pour faciliter le travail des employés, ces travaux se font souvent avec l'aide des bénévoles qui s'occupent de l'évacuation de la matière coupée. Lors des années de forte production en biomasse, une partie des prés de fauche sont laissés à la charge d'agriculteurs qui viennent faucher et récupérer le foin.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	-/+ Avancée de la phénologie de la végétation - Décalage entre phénologie de la végétation et phénologie de la faune -/+ Augmentation de la production de biomasse
Jours d'été Canicules	↗	- Conditions de travail difficiles lors de la période des foins, voire risquées pour la santé des salariées et bénévoles
Précipitations hivernales	↗	- Conditions de travail plus difficiles - Intervention plus compliquée sur les prairies humides à cause d'un sol beaucoup plus meubles difficilement praticable qui peut aussi être plus sensible au piétinement
Etés secs Sécheresses	↗	- Diminution de la production des prés de fauche si les sécheresses ont lieu en début d'été + Conditions plus favorables à la fenaison car il y a besoin de plusieurs jours de sec avant les fauches - Assèchement des milieux humides les rendant plus favorables à l'installation des ligneux type saules
Pluies torrentielles	↗	- Fauche impossible, notamment pour les fauches estivales

Les capacités d'adaptation

- Adaptation des dates de fauche.
- Adaptation des horaires de travail.
- Soutien mécanique.

Les pressions non climatiques

- Besoin de se caler sur la phénologie de la flore et de la faune.
- Dérangement pour les activités touristiques/visiteurs.
- Nombre variable de bénévoles pouvant aider.
- Volonté des salariés de décaler leurs heures de travail.

- Usure et casse du matériel.

Résultat du DVO	Vulnérabilité moyenne

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Un décalage par rapport à la phénologie de la végétation et de la faune risque de se créer, que ce soit pour des interventions hivernales tardives qui pourraient impacter la repousse de plus en plus précoce de la végétation, ou pour des fauches estivales qui risquent de perturber des espèces en cours de reproduction et/ou leurs juvéniles. La prolifération des ligneux avec l'assèchement des prairies humides demanderont des interventions plus fréquentes en complément du pâturage naturel.
Les conditions de travail deviendront plus difficiles. Les hivers humides pourraient rendre les terrains difficilement praticables/accessibles et empêcher les interventions à l'aide de machines lourdes qui tasseront les sols, obligeant alors les salariés à faucher et évacuer la matière manuellement. La période estivale plus sèche permettra de réaliser les fenaisons dans un temps plus court, mais la hausse des températures et de la fréquence des épisodes caniculaires risquent de rendre le travail trop difficile pour les employés et les bénévoles, avec un risque direct pour leur santé. Les fenaisons se faisant en fauches tardives, il y a aussi le risque que les sécheresses impactent négativement la productivité des prés de fauche.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ Améliorer le confort des fauches hivernales pour les salariés :

- Eviter les fauches après plusieurs jours de pluie pour réduire l'impact du piétinement et des conditions de travail pénibles ;
- Se doter de motofaucheuses/microtracteurs adaptés pour rouler sur des sols meubles pour accélérer et faciliter le travail de l'équipe de gestion (existence aussi d'outils adaptables à des quads ou à des motoculteurs, exemples ici) ;
- Mettre en place des indicateurs de la phénologie de la végétation pour s'assurer qu'une fauche tardive n'impacte pas un débourrement précoce de la végétation.

→ Améliorer le confort des fauches estivales pour les salariés :

- En période caniculaire, poursuivre l'organisation horaire du travail pour éviter les efforts physiques intenses lors du pic de chaleur, notamment pour les bénévoles âgés (par exemple commencer plus tôt le matin, laisser le ramassage et rangement des bottes pour le lendemain matin s'il n'y a pas de risque de pluie, etc.) ;
- Mécaniser davantage les foins pour réduire la main d'œuvre humaine ;
- Réactualiser la date officielle de début de fauche selon le changement ou non de la phénologie de la faune/flore.

→ S'il n'est pas possible de se doter de nouveaux moyens mécaniques :

- Continuer à recruter et à mobiliser les bénévoles pour aider sur le terrain.

→ Améliorer l'empreinte carbone :

- Poursuivre l'achat de matériels électriques.

Outils et moyens de gestion : Gestion des niveaux d'eau au cœur de la réserve

Description

L'alimentation en eau de la réserve se fait par plusieurs sources. Outre les précipitations, la nappe phréatique et ses résurgences, la réserve reçoit de l'eau par trois prises sur le canal de Huningue et est également traversée par le cours d'eau de l'Augraben.
La part d'eau prélevée sur le canal de Huningue se fait avec un débit fixe sur l'année qui ne devrait pas être amené à varier dans le contexte de changement climatique selon VNF. Les prises servent à alimenter une bonne partie des milieux humides et des étangs selon un circuit prédéfini de canaux. Les débits peuvent être contrôlés à l'aide de moines.
L'Augraben traverse la réserve mais alimente peu les milieux, hormis lorsqu'il est en crue lors des fortes précipitations. Ce cours d'eau sert d'exutoire pour les bassins d'orage en amont de la réserve, ce qui pose le problème des transports de polluants. Il n'est pas possible de gérer son débit au niveau de la réserve.
Une tournée de surveillance est faite dans l'année durant l'hiver pour vérifier qu'il n'y ait pas d'embâcles sur les canaux et sur l'Augraben, ceux-ci sont enlevés par intervention manuelle le cas échéant. Des interventions peuvent également être réalisées en cours d'année si un niveau anormal de l'eau est constaté.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	- Augmentation de l'évaporation et de l'évapotranspiration de la végétation causant des pertes en eau entre le début et la fin du circuit
Etés secs Sécheresses	↗	- Fortes pertes en eau par évaporation entre le début et la fin du circuit - Demande en eau plus importante pour maintenir certains milieux
Pluies torrentielles	↗	- Augmentation des crues éclair sur l'Augraben avec apport en polluants et en déchets flottants pouvant créer des embâcles + Recharge en eau des milieux
Vents violents	↗	- Augmentation des chutes d'arbres et de branches et donc du nombre d'embâcles sur les voies d'eau

Les capacités d'adaptation

- Modulation des débits avec les moines pour les prises sur le canal de Huningue.

Les pressions non climatiques

- Débit réservé fixe des prises sur le canal ne pouvant être modifié sans un accord avec le partenaire (VNF).
- Embâcles.
- Fuites.
- Construction de barrages sur le cours de l'Augraben par des personnes extérieures dans un but récréatif.
- Envasement/embroussaillement de l'Augraben et des canaux.

Résultat du DVO	Vulnérabilité très forte

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Avec la hausse de l'évapotranspiration, des sécheresses et des canicules, les pertes en eau seront beaucoup plus importantes au cours du circuit, notamment en période estivale. Certains milieux pourraient être amenés à manquer d'eau avec une demande accrue des végétaux et ne pas pouvoir se maintenir dans leur état actuel. A l'inverse, la hausse des précipitations hivernales pourrait saturer les milieux et le réseau d'eau, créant des débordements sur les sentiers et en périphérie de la réserve.
La mortalité plus importante des arbres en raison du changement climatique et l'augmentation de la fréquence des vents forts mèneront à des chutes d'arbres/branches plus fréquentes, créant alors des embâcles qui perturberont le circuit de l'eau. La hausse des pluies torrentielles sera associée à des crues éclair, notamment sur l'Augraben qui sert d'exutoire en amont de la réserve. Les débris transportés pourront créer des embâcles et apporter des eaux polluées dans les milieux.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ Réactualiser les connaissances sur le circuit de l'eau :

- Refaire la cartographie détaillée de l'hydrosystème de la réserve ;
- Faire des mesures de débits en interne pour estimer la quantité d'eau envoyée et « consommée » par les milieux.

→ « Restaurer » le circuit :

- Réparer les fuites non voulues entre les milieux aquatiques ;
- Equiper certains busages simples de système de régulation des niveaux pour affiner la gestion des débits et pouvoir si besoin augmenter la capacité de stockage des milieux ;
- Organiser un nettoyage régulier et par tronçons des chenaux d'alimentation (évacuer les arbres tombés dans les chenaux, éclaircir la végétation trop dense qui pourrait à terme impacter la circulation de l'eau, renforcement des berges si besoin).

→ Si les débits d'eau deviennent insuffisants pour une alimentation efficace des divers milieux :

- Demander à VNF un débit de soutien supplémentaire en période estivale ;
- Si le débit en eau ne peut pas être augmenté, revoir les objectifs de gestion pour prioriser les milieux à alimenter.

Outils et moyens de gestion : Non intervention sur les milieux forestiers

Description

Les milieux forestiers sont laissés en libre évolution. Les seules interventions se limitent à des coupes sécuritaires aux abords des sentiers et des habitations ou à des coupes d'entretien en bordure de certaines prairies pour éviter que les arbres ne fassent trop d'ombrage.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	-/+ Modification de la composition spécifique des forêts - Arrivée et prolifération de nouvelles maladies et pathogènes, avec augmentation de la quantité de bois mort
Etés secs Sécheresses	↗	-/+ Augmentation de la quantité de bois mort
Vents violents	↗	- Chutes d'arbres et de bois morts -/+ Augmentation du nombre de trouées forestières

Les capacités d'adaptation

- Cf capacités d'adaptation des Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides.
- Dynamique naturelle de la forêt qui se reconstitue d'elle-même en cas de perturbation par successions écologiques.

Les pressions non climatiques

- Maladie et pathogène (phytophtora de l'aulne, chalarose du frêne).
- Espèces exotiques envahissantes.
- Herbivorie.

Résultat du DVO	Vulnérabilité forte

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Le changement climatique entrainera dans un premier temps une forte mortalité des arbres et de nombreuses chutes d'arbres morts ou au système racinaire affaibli. La dynamique naturelle de la forêt devrait lui permettre de se régénérer sans l'intervention de l'homme. Néanmoins, le risque est que les trouées forestières soient colonisées par des espèces exotiques envahissantes plus compétitives et à la croissance plus rapide que les espèces natives, telles que le Robinier faux-acacia, la Renouée du japon en bordure d'eau et le Buddleia. Le risque est encore plus important pour les zones en bordure de cours d'eau où la migration des espèces est facilitée par le courant et les crues. Ainsi, le type de forêt en développement pourrait ne plus correspondre aux objectifs actuels du plan de gestion et de conservation des écosystèmes rhénans.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

Les mesures d'adaptation sont traitées dans la fiche sur les Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides.

Outils et moyens de gestion / Pression non climatique : Lutte contre les espèces végétales invasives

Description

La lutte contre les invasifs représente de nombreuses heures de travail par les salariés mais aussi par les bénévoles. Les interventions se font soit par arrachage manuel lorsque c'est possible, soit par intervention mécanique de fauchage ou broyage en fonction de la densité des espèces invasives et de la sensibilité de la zone. Les espèces ligneuses telles que le robinier peuvent être coupées à ras ou annelées pour induire une mort progressive du pied. Généralement, ces travaux se font au printemps et en été avant la montée en graines des plantes. Les principales espèces qui font l'objet d'interventions sont le Solidage du Canada, le Séneçon du Cap, l'Arbre à papillons et le Robinier faux-acacia. D'autres espèces sont présentes comme la Renouée du Japon, la Balsamine de l'Himalaya, le Sumac de Virginie et l'Ailante glanduleux et peuvent faire l'objet d'interventions ponctuelles. Des espèces natives comme le Peuplier, l'Aulne et le Genêt sont également contrôlées lorsqu'elles entrainent la fermeture de milieux ayant un fort intérêt de conservation.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	-/+ Décalage de la phénologie - Arrivée de nouvelles espèces invasives - Renforcement du pouvoir invasif des espèces déjà présentes
Canicules	↗	- Conditions de travail plus difficiles voire impossibles
Etés secs Sécheresses	↗	- Sols trop durs pour l'arrachage des plantes avec les racines + Peuvent limiter l'implantation de certaines espèces invasives, notamment dans les zones les plus sèches
Précipitations hivernales	↗	+ Sol plus meuble rendant l'arrachage plus facile
Evènements extrêmes	↗	- Création de niches écologiques vacantes favorables à l'implantation des espèces invasives

Les capacités d'adaptation

- Technique de lutte.
- Moyen humain modulable avec le recrutement de bénévoles.
- Dates et horaires d'intervention.

Les pressions non climatiques

- Nombre de salariés/bénévoles limités.
- Nombre d'heures à allouer à la lutte contre les invasifs conditionnées par les autres interventions nécessaires sur la réserve.

Résultat du DVO	Vulnérabilité moyenne

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

L'évolution des conditions climatiques et la perturbation des communautés végétales natives créeront des conditions favorables aux EEE déjà présentes et pourront renforcer leur pouvoir invasif. De nouvelles espèces pourront également s'installer et potentiellement proliférer. Il est probable que le nombre d'heures passé actuellement à la lutte contre les invasifs et les moyens utilisés deviennent insuffisants pour contrôler toutes les espèces. Néanmoins, il est possible

que les prairies sèches deviennent trop arides en été pour la survie des EEE présentes, permettant ainsi de limiter les interventions sur ces milieux.
En période caniculaire, les conditions de travail pourraient également devenir trop difficiles pour les salariés et les bénévoles et les sécheresses pourraient rendre plus difficile l'arrachage des plantes. En revanche, des sols plus humides de l'automne au printemps pourraient faciliter l'arrachage d'arbrisseaux comme le buddleia.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ Augmenter la lutte par pâturage naturel :

- Si besoin, créer des enclos mobiles dans les enclos fixes existants pour accentuer la pression de pâturage par les bovins sur les zones envahies ;
- Développer l'utilisation des ovins/caprins dans des enclos mobiles sur le site historique.

→ Augmenter la lutte en utilisant les moyens humains :

- Poursuivre la mobilisation des bénévoles pour pouvoir organiser plus régulièrement des chantiers d'arrachage qui semblent les plus efficaces pour lutter ;
- Veiller l'apparition des nouvelles EEE et organiser des arrachages dès le début de leur installation.

→ Si l'arrachage et le pâturage ne suffisent pas pour lutter :

- Faucher un maximum de zones envahies pour limiter la prolifération des EEE ;
- Si besoin, réfléchir à des moyens mécaniques plus radicaux (bâches, raclage de la couche de terre à la pelleteuse, etc.) en analysant d'abord les retombées négatives de ces interventions et en assurant par la suite une gestion active des zones traitées pour éviter un retour des EEE ;
- Si besoin, faire intervenir des prestataires extérieurs pour compléter les actions de l'équipe salariée.
- Si la lutte semble perdue d'avance par manque de moyens humains et financiers, envisager de laisser s'installer certaines EEE pour pouvoir concentrer la lutte sur celles ayant les impacts les plus négatifs sur la biodiversité locale.

→ Prévenir les invasions :

- Lorsqu'un prestataire extérieur intervient sur le site, insister sur le nettoyage des machines avant chantier pour éviter l'apport de graines extérieures ;
- Sensibiliser les salariés, scientifiques et bénévoles au nettoyage des outils/vêtements/chaussures entre deux interventions pour limiter les apports de l'extérieur et le transport au sein du site ;
- Lors des travaux de renaturation/restauration et s'il y a présence d'EEE dans les milieux annexes, éviter de laisser les sols à nu en semant ou plantant des espèces natives.

→ Améliorer les connaissances :

- Actualiser la liste et cartographier les EEE déjà présentes sur la réserve ;
- Etablir une liste des EEE répertoriées à proximité de la réserve ou dans les régions voisines et qui pourraient venir s'implanter dans le futur ;
- Créer/s'intégrer dans un réseau de surveillance avec d'autres espaces naturels ou collectivités ;
- Se tenir au courant de l'évolution des techniques de lutte et continuer à former les employés et les bénévoles.

→ Mobiliser les autres acteurs :

- Dans le cadre du PCAET de l'agglomération de Saint-Louis, participer à la création de fiches sur les espèces invasives à intégrer dans la boite à outils à destination des communes ;
- Discuter avec les partenaires (EDF, VNF) pour adapter les périodes de fauche en fonction d'objectifs liées aux EEE ;
- Sensibiliser le grand public à la problématique des EEE plantées dans les jardins via des ateliers et des conférences.

Outils et moyens de gestion : Régulation des sangliers

Description

La régulation des sangliers se fait au tir par un groupe de chasseurs bénévoles, pour réduire la prolifération des sangliers et les dégâts qu'ils causent aux cultures et dans la réserve. Plusieurs fois dans l'année, des battues sont organisées aux abords de la réserve. Il y a également plusieurs miradors dans et autour de la réserve qui sont régulièrement occupés en soirée par un ou plusieurs chasseurs.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	- Meilleure survie des sangliers et prolifération
Précipitations hivernales	↗	- Certains terrains peuvent devenir difficilement praticables - Conditions d'affuts plus difficiles
Vents violents	↗	- Risques pour les chasseurs - Dommages sur les miradors
Canicules	↗	- Conditions d'affuts en soirée plus difficiles
Sécheresses	↗	+ Conditions plus favorable aux affûts et aux battues

Les capacités d'adaptation

- Dates et heures des affuts/battues.
- Nombre de membres dans le groupe des régulateurs.

Les pressions non climatiques

- Conflit avec les activités touristiques/de loisirs pratiquées sur le site.

Résultat du DVO	Vulnérabilité moyenne

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation :

Les populations de sangliers devraient profiter du changement climatique pour s'accroitre par la meilleure survie hivernale des juvéniles et par l'augmentation de la disponibilité alimentaire avec l'allongement de la saison de végétation. Les prélèvements actuels réalisés dans le cadre de la régulation pourraient devenir insuffisants et les dégâts causés dans la réserve et aux alentours aller à la hausse, notamment si les sangliers recherchent de nouvelles zones de nourrissage pour éviter la compétition intraspécifique.
L'évolution du climat pourrait aussi perturber les conditions de chasse. La hausse des précipitations de l'automne au printemps rendrait les affuts inconfortables et réduirait la visibilité. Les canicules pourraient aussi rendre les affuts plus difficiles et pousser les animaux à fourrager en pleine nuit lors des heures les plus fraiches, créant alors un décalage avec les heures d'affuts. Les autres évènements extrêmes type coups de vent forts et pluies torrentielles pourront aussi perturber l'activité des chasseurs, que ce soit pour les affûts ou pour l'organisation des battues.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ Compenser la prolifération des sangliers :

- Adapter le nombre de battues et d'affûts dans l'année ;
- Si besoin, tester de nouvelles méthodes : repérer les zones refuges des sangliers et pratiquer le décantonnement individuel (dérangement régulier sans tir par une seule personne qui connait bien le terrain) ;
- Si besoin, tester de nouvelles méthodes : pratiquer le gyrobroyage partiel (<20%) dans les milieux fermés type saulaies/roselières sur des bandes de 1,5 m pour éviter les zones refuges de sangliers (pratiqué dans la RNCFS du lac du Der, à priori pas d'impact sur la nidification des oiseaux paludicoles).

Bibliographie :

Delorme, Daniel, Blandine Guillemot, Yves Maupoix, and Stéphane Mortreux. 2012. "Gestion de l'impact Du Sanglier Dans Les Espaces Protégés : Les Solutions Trouvées Dans La RNCFS Du Lac Du Der." *Faune Sauvage* 296.

Outils et moyens de gestion : Démoustication

Description

La démoustication est réalisée dans un but sanitaire sur les zones en eau proches des habitations pour éviter la prolifération de moustiques porteurs de maladies. Pour cela, un biocide (*Bacillus thuringiensis israelensis)* est répandu dans l'eau pour agir sur les larves dès que les conditions climatiques deviennent favorables à la reproduction des moustiques. Cette opération est renouvelable dans l'année si besoin. Une tournée de contrôle est également faite par les démousticateurs autour des bâtiments pour repérer et signaler tous les petits points d'eau d'origine humaine favorables à la reproduction des moustiques et devant être supprimés.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	- Avancée de la phénologie des moustiques - Générations supplémentaires dans l'année - Arrivée de nouvelles espèces de moustiques
Précipitations hivernales	↗	- Création de nombreux points d'eau temporaires en début de saison et favorables à la reproduction des moustiques avec l'absence de prédateurs aquatiques
Etés secs Sécheresses	↗	+ Réduction des surfaces favorables à la reproduction des moustiques, notamment les points d'eau temporaires

Les capacités d'adaptation

- Moyen de lutte.
- Date et nombre des interventions.

Les pressions non climatiques

- Moyen humain mobilisable sur les opérations.
- Traitement doit être compatible avec les objectifs de préservation de la biodiversité.

Résultat du DVO	Vulnérabilité moyenne

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

L'augmentation globale de la température sera favorable à l'allongement de la période de reproduction des moustiques, un démarrage plus tôt dans l'année permettant des générations supplémentaires, et à l'arrivée/prolifération de nouvelles espèces. Les hivers et printemps plus humides créeront de nombreux petits points d'eau temporaires favorables à la reproduction des moustiques, notamment le Moustique tigre (*Aedes albopictus*). En plus de devoir intervenir plus tôt, repérer ces points d'eau temporaires demandera plus de temps de travail aux intervenants. La pression de lutte actuelle pourrait devenir insuffisante avec l'explosion des populations de moustiques, accentuant alors les risques sanitaires pour les habitations périphériques.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ **Améliorer la lutte au niveau des bâtiments :**

- Continuer à sensibiliser les salariés et les bénévoles au risque de création de micro-points d'eau et sur les bons gestes à adopter ;
- En sortie d'hiver, organiser une journée avec les salariés et/ou bénévoles pour repérer et enlever tous les micro-points d'eau d'origine humaine autour des bâtiments.

→ **La lutte dans la réserve :**

- Se tenir au courant de l'arrivée de nouvelles espèces de moustiques dans la région et de nouvelles techniques de lutte potentielles via la Brigade Verte ;
- Via les mesures d'adaptation des habitats aquatiques, éviter la création de micro points d'eau aux écosystèmes pauvres et instables et agir en faveur des milieux d'eau courante et des milieux d'eau stagnantes aux écosystèmes riches avec la présence de prédateurs.

Bibliographie :

GREC-SUD. n.d. "Le Changement Climatique Est-Il Propice Au Développement Des Moustiques ?" Retrieved July 20, 2020 (http://www.grec-sud.fr/article-cahier/articles-du-cahier-mer-et-littoral/les-effets-du-changement-climatique-sur-la-biodiversite-et-le-risque-sanitaire/le-changement-climatique-est-il-propice-au-developpement-des-moustiques/).

Outils et moyens de gestion : Moyens humains

Description

L'association fonctionne avec 21 salariés répartis sur plusieurs services :
- le Centre d'Initiation à la Nature et à l'Environnement en charge des visites guidées, animations scolaires sur le site ou en extérieur et accueil du public sur le site ;
- le service Gestion des Espaces s'occupant de tous les travaux d'entretien et de maintien des milieux naturels, ainsi que d'une partie des suivis scientifiques ;
- le service pisciculture en charge de l'élevage des poissons dans la pisciculture et sur des plans d'eau extérieurs, ainsi que des alevinages ;
- les services généraux pour le fonctionnement de l'association.

A côté de ça, l'association est aidée par des groupes de bénévoles : un groupe s'occupant des travaux de bricolage et de construction des infrastructures telles que les observatoires, un groupe assistant l'équipe de gestion sur le terrain, un groupe s'occupant d'un jardin pédagogique et enfin quelques bénévoles aidant à l'accueil du public durant les week-ends. Les bénévoles sont en majorité des retraités.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Températures	↗	+ Conditions de travail plus agréables de l'automne au printemps - Conditions de travail plus difficiles durant la période estivale
Canicules	↗	- Conditions de travail en extérieur trop difficiles et pouvant devenir dangereuses pour la santé des travailleurs
Précipitations hivernales	↗	- Conditions de travail en extérieur plus difficiles - Certains terrains pourraient devenir impraticables
Vents violents	↗	- Travail et visite en extérieur impossibles avec risques directs pour les usagers

Les capacités d'adaptation

- Décalages des dates des interventions et visites.
- Décalages des horaires de travail.

Les pressions non climatiques

- Obligation de maintenir certaines actions pour le bon fonctionnement du site.

Résultat du DVO	Vulnérabilité moyenne

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Certains points ont déjà été abordés dans les moyens de gestion précédents. Pour l'équipe de gestion, le travail de terrain déjà difficile pourrait se compliquer à cause de conditions météorologiques défavorables : hausse des précipitations en hiver et des pluies torrentielles rendant le travail inconfortable et certains terrains moins praticables, avec le risque que les machines lourdes ne puissent plus être utilisées et que les interventions doivent être faites manuellement, hausse des canicules durant la période estivale avec des risques pour la santé et hausse des coups de vent forts qui rendent dangereux le travail de terrain.

Le changement des conditions climatiques influencera aussi le travail de l'équipe d'animation. La hausse des températures devrait être favorable aux sorties extérieures, notamment entre l''automne et le printemps. Néanmoins, la hausse des précipitations durant cette même période pourra annuler l'effet positif de la hausse de température en rendant les conditions inconfortables à des sorties de plusieurs heures en extérieur. Les canicules durant la période estivale rendront les visites guidées fatigantes, voire dangereuses pour la santé des animateurs et des visiteurs notamment pour les publics plus fragiles comme les personnes âgées et les jeunes enfants. Des étés chauds pourraient aussi avoir comme effet une hausse de la fréquentation des points de vente dans la réserve pour l'achat de boissons fraiches, notamment durant les week-ends où la fréquentation des boutiques est déjà relativement forte. La hausse des coups de vent forts perturbera probablement les sorties et visites organisées avec leur annulation pour des conditions de sécurité.
Les bénévoles pourraient plus particulièrement souffrir des nouvelles conditions climatiques, la majorité étant des retraités plus susceptibles d'être sensibles face à des conditions humides ou à des évènements extrêmes tels que les canicules.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ Impliquer et former les salariés :

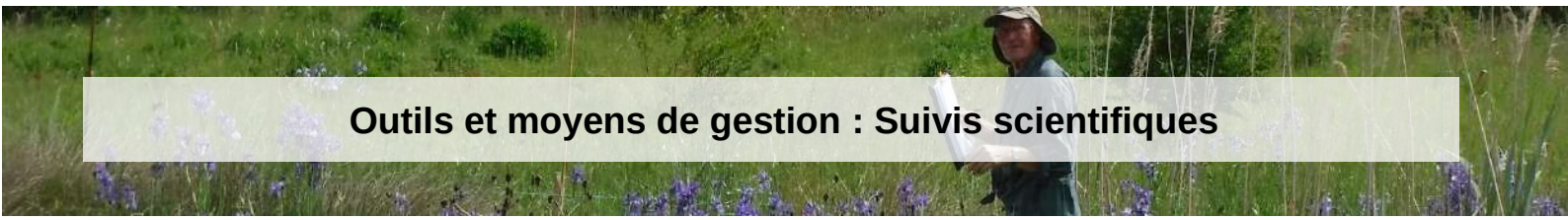
- Lors des réunions du personnel et des entretiens individuels, questionner les salariés sur les problèmes qu'ils peuvent rencontrer dans leur travail en lien avec les conditions climatiques ;
- Demander aux salariés s'ils voient des solutions qui pourraient les aider à résoudre les problèmes rencontrés ;
- Demander une formation SST spécifique sur les risques pour la santé face à des conditions climatiques « extrêmes ».

→ S'organiser selon la météo :

- Organiser des tâches à faire en intérieur pour les jours avec une météo extrême (tempête, canicule, orage, etc.) ;
- En période caniculaire, continuer à décaler si possible les heures de terrain plus tôt le matin et en aménageant des temps de pause plus fréquents, ou prévoir du travail dans un milieu ombragé.

Bibliographie :

Inserm. 2015. "Quels Impacts Du Changement Climatique Sur Notre Santé ?"



Outils et moyens de gestion : Suivis scientifiques

Description

Les suivis scientifiques sont réalisés soit par les employés, soit par des bénévoles ou des organismes de recherche extérieurs. Les principaux suivis sont : le relevé des indices de présence du Castor européen, le suivi des populations de lépidoptères et d'odonates, le comptage et baguage des oiseaux, les comptages floristiques (Anémone pulsatille, Liparis de Loesel, Epipactis des marais, Gentiane pneumonanthe, divers orchidées), le suivi pâturage, etc. La plupart des suivis se font selon les conditions météorologiques du jour, certains requierant des conditions précises.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Températures	↗	-/+ Décalage de la phénologie de la flore et de la faune - Modification de la composition spécifique avec la possible disparition de certaines espèces suivies
Etés secs	↗	+ Météo favorable à la sortie des lépidoptères et des odonates
Aléas climatiques	↗	- Suivis impossible sur le terrain

Les capacités d'adaptation

- Flexibilité dans les heures et les dates des suivis.

Les pressions non climatiques

- Phénologie du sujet d'étude.
- Pour les animaux, les heures de suivi doivent se faire sur la période d'activité du sujet.

Résultat du DVO	Vulnérabilité moyenne

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation :

Des éléments susceptibles d'impacter les suivis scientifiques ont déjà été abordés dans le point précédent sur les moyens humains. Des évènements extrêmes comme les crues, les pluies torrentielles et les coups de vents forts obligeront plus souvent à l'annulation des sorties prévues. Les suivis réalisés de l'automne au printemps pourraient devenir moins confortables à réaliser à cause des conditions plus humides. Les conditions de travail seront aussi plus rudes pour les suivis d'invertébrés qui se font durant la période estivale lorsque la météo est ensoleillée, avec la probabilité que ces suivis tombent durant des périodes caniculaires.
Les objectifs des suivis scientifiques pourraient aussi devenir obsolètes. Certaines espèces suivies pourraient être amenées à disparaitre et de nouvelles espèces qui auraient un intérêt patrimonial pourraient s'installer. De plus, les protocoles des suivis actuels n'incluent pas ou peu la notion de climat, ce qui pourrait manquer pour comprendre les variations des populations ou la modification de la composition spécifique en lien avec le changement climatique.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ S'adapter aux nouvelles conditions climatiques :

- Acheter du matériel polyvalent qui résiste aux diverses conditions climatiques (papier résistant à la pluie, tablette étanche) ;
- S'arranger pour être toujours en binôme lors des suivis scientifiques ;
- Si possible, adapter les horaires ou prévoir des dates de reports si les conditions climatiques sont dangereuses.

→ Adapter les objectifs des suivis :

- Installer une/des station(s) météorologique(s) sur le site pour établir un suivi continu de plusieurs facteurs climatiques en local et les intégrer aux suivis floristiques et faunistiques ;
- Créer de nouveaux suivis selon les possibilités : phénologie des espèces, composition spécifique des communautés végétales, surveillance de l'arrivée de nouvelles espèces, etc. ;
- Créer des partenariats avec des organismes de recherche sur la thématique du changement climatique.

Outils et moyens de gestion : Infrastructures

Description

Les bureaux de la Petite Camargue Alsacienne sont installés dans les bâtiments de l'ancienne pisciculture, au cœur de la réserve. On y trouve également une partie toujours dédiée à la pisciculture et dotée d'un petit musée, un bâtiment servant à des expositions temporaires, un bâtiment pour l'accueil du public avec une boutique et une exposition permanente et 4 maisonnettes servant aujourd'hui à la station de recherche et aux groupes bénévoles pour les suivis scientifiques. Plusieurs autres bâtiments/abris servent au stockage du matériel.
Le site est doté d'une dizaine d'observatoires en bois construits par les bénévoles. D'autres structures en bois sont également installées comme des ponts et des platelages dans les zones humides pour faciliter l'accès. La végétation en bordure des sentiers est régulièrement entretenue pour éviter l'envahissement des sentiers.
Toutes les zones de pâturage sont délimitées par des clôtures électriques qui sont régulièrement vérifiées pour réparer les dégâts dus aux chutes de branches et couper la végétation qui entre en contact avec les fils et perturbe la circulation du courant.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	- Augmentation de la production de biomasse végétale impactant les clôtures électriques et les sentiers + Réduction de l'utilisation du chauffage
Précipitations hivernales	↗	- Installation d'une humidité dans les bâtiments pouvant causer des problèmes de santé aux salariés ou nuire aux installations des musées - Risque pour les infrastructures en bois avec le développement de champignons
Toit de la nappe en hiver	↗	- Possibles inondations ou humidité très importante dans les bâtiments dotés d'une cave
Etés secs Sécheresses	↗	- Assèchement en profondeur du sol pouvant causer des mini-mouvements de terrain type retrait-gonflement des argiles - Mauvaise circulation du courant électrique dans les clôtures à cause d'un mauvais contact avec le sol de la masse + Limitation de la mousse sur les toits et du développement de champignons
Vents violents	↗	- Augmentation des chutes d'arbres sur les bâtiments, infrastructures et sentiers créant des risques pour les usagers

Les capacités d'adaptation

- Fréquence des contrôles et d'entretien.

Les pressions non climatiques

- Usure naturelle et utilisation.
- Dégâts des sangliers sur les clôtures.

Résultat du DVO	Vulnérabilité forte

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

Les infrastructures subiront probablement des effets du changement climatique. L'augmentation des précipitations de l'automne au printemps augmenteront le risque d'humidité dans les bâtiments, entrainant une dégradation des structures intérieures et un inconfort pour les usagers, voire le développement de moisissures pouvant causer des problèmes de santé. L'humidité favorisera le développement de mousses sur les toits, créant une porosité des tuiles et altérant leur étanchéité. Les caves seront aussi soumises aux remontées de nappe phréatique et aux infiltrations. Les structures en bois (observatoires, platelage) risquent de subir le développement de champignons et de se dégrader plus rapidement, réduisant leur durée de vie.
En été, les sécheresses de longue durée pourraient causer un assèchement du sol en profondeur, créant des mini-mouvements de terrain et perturbant la stabilité des infrastructures. Les sécheresses impacteront aussi la circulation du courant dans les clôtures électriques par une baisse de tension due à un mauvais contact entre le sol et la prise de terre, entrainant une perte d'efficacité des clôtures.
La hausse du nombre d'arbres morts et de la fréquence des coups de vent forts augmenteront les dégâts causés par des chutes d'arbres et de branches. Les clôtures électriques notamment seront plus fréquemment abimées et/ou subiront une perte d'efficacité si des branches sont en contact. L'allongement de la période de végétation et l'augmentation de la production de biomasse en début de saison feront que la quantité de plantes entrant en contact avec les fils sera à la hausse, altérant l'efficacité des clôtures.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ Assurer l'intégrité des bâtiments :

- Surveiller l'apparition de signes d'humidité dans les bâtiments pouvant causer une dégradation et des problèmes de santé chez les salariés et si besoin faire intervenir un prestataire extérieur pour assainir le bâtiment ;
- Faire intervenir occasionnellement une nacelle pour descendre la mousse des toits et éviter la dégradation des tuiles ;
- Continuer à intervenir sur les arbres qui pourraient tomber sur les différents types de bâtiments ;
- Surveiller l'apparition de fissures qui pourraient résulter de mini-mouvements de terrain avec les sécheresses à répétition.

→ Assurer l'intégrité des structures en bois (observatoires, platelage) :

- Surveiller l'intégrité des structures en sortie d'hiver et s'assurer que le bois ne pourrisse pas avec l'humidité/l'installation de champignons.

→ Assurer l'intégrité des clôtures :

- Continuer lors des tournées d'entretien des clôtures, et si c'est possible, à couper la végétation plus courte pour compenser l'augmentation de la production de biomasse ;
- Continuer à couper/tailler les arbres morts en bordure des clôtures pour éviter leur chute lors des coups de vents ;
- Enterrer la prise de terre plus profondément pour assurer la circulation du courant en période de sécheresse.

Activités socio-économiques / Pression non climatique : Activités touristiques et de loisirs

Description de l'activité

Le site de la Petite Camargue Alsacienne reçoit près de 100 000 visiteurs par an. Intégrée dans l'agglomération des Trois Frontières, de nombreux riverains viennent s'y balader seuls ou en famille, ou y faire des activités sportives type footing et vélo. De par sa richesse faunistique, de nombreux photographes et ornithologues viennent également y faire des observations tout au long de l'année.
Un Centre d'Initiation à la Nature et à l'Environnement est installé sur le site. Celui-ci s'occupe de l'accueil du public dans la boutique et les expositions, mais organise également de nombreuses animations scolaires. Tout au long de l'année, des visites guidées thématiques, des maraudages et des chantiers sont réalisés avec le grand public selon le programme d'animations prédéfini. Des visites guidées sur demande sont également faites.
Les fréquentations libres du site peuvent être sujettes à des dégradations et des infractions au règlement de la réserve. Les infractions les plus fréquentes sont notamment les hors-sentiers, les chiens non tenus en laisse et les nuisances sonores. Mais on relève aussi d'autres infractions plus graves comme le prélèvement de végétation, le dépôt de déchets, les places de feu et la dégradation des infrastructures. Des conflits entre activités peuvent également émerger, par exemple lorsque certains sentiers sont trop étroits pour une circulation des vélos sans risque pour les piétons ou que des groupes trop bruyants dérangent les photographes et naturalistes.

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels du changement climatique
Température	↗	+/- Augmentation de la fréquentation du site tout au long de l'année - Saturation des parkings du site pendant les week-ends
Précipitations hivernales	↗	- Baisse de la fréquentation libre du site - Conditions de travail difficiles pour les animateurs pour les sorties en extérieur
Canicules	↗	+/- Augmentation de la fréquentation du site comme lieu de fraicheur +/- Décalage des horaires de fréquentation dans la matinée ou en soirée - Conditions de travail difficiles pour les animateurs pour les sorties en extérieur et risque pour le public sensible (personnes âgées, jeunes enfants)
Etés secs Sécheresses	↗	+/- Augmentation de la fréquentation du site avec un risque réduit de précipitation
Vents violents	↗	- Risques directs pour les usagers - Report/annulation de certaines animations

Les capacités d'adaptation

- Heure de fréquentation pour les visites libres.
- Organisation en amont des animations.

Les pressions non climatiques

- Dates fixes des animations dans le programme.
- Pour les animations scolaires, difficultés de déplacer les animations à une autre date.

Résultat du DVO	Vulnérabilité moyenne

Evolution attendue en l'absence de mesures d'adaptation

L'activité touristique et de loisirs du site sera amenée à changer. Il est probable qu'elle augmente avec la poursuite de la croissance des agglomérations voisines, mais la fréquentation pourrait être déséquilibrée sur l'année. La hausse des précipitations du printemps à l'automne pourrait réduire la fréquentation sur cette période, bien que les températures deviennent plus clémentes. Les sorties prévues au programme d'animations pourraient en pâtir avec des cas plus fréquents de sorties où très peu de visiteurs font le déplacement.
La fréquentation du site sera surement à la hausse durant la période estivale devenant plus sèche, la Petite Camargue pouvant aussi être vue comme un lieu de fraicheur face aux vagues de chaleur. Cela pourrait avoir un impact positif pour les revenus des boutiques et la participation aux sorties et expositions organisées par la Petite Camargue. Le site pourrait néanmoins devenir saturé durant les week-ends et subir une hausse des infractions.
Les périodes de canicule influenceront probablement le comportement des visiteurs qui décaleront leurs heures de fréquentation le matin et le soir au lieu de l'après-midi. Cela impactera négativement les revenus des boutiques, dont les horaires d'ouverture ne correspondront plus aux pics de fréquentation, et les visites organisées durant les après-midis avec peu de visiteurs faisant le déplacement.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ Adapter les activités du CINE aux étés chauds :

- Dans le programme d'animations, anticiper les sorties estivales et les programmer de préférence le matin ou en fin de journée ;
- Pour les visites de groupe, prévoir d'autres modalités avec au moins une partie de la visite en intérieur en période caniculaire, notamment pour les publics sensibles ;
- Durant la période estivale, prévoir des évènements avec des ouvertures prolongées des boutiques et des expositions en fin de journée.

→ Redynamiser la réserve durant les hivers humides :

- Dans le programme d'animations, prévoir plutôt des activités en intérieur ;
- Pour les visites de groupe, prévoir un plan B au moins partiellement en intérieur en cas de pluie soutenue ;
- Organiser des nouveaux types d'évènements pour attirer le public sur le site : projection de film, conférence/débat, mini-expositions temporaires, marché du terroir avec produits locaux à la maison éclusière et dans le nouveau bâtiment CINE, etc.

→ Adapter les actions de police pour limiter les incivilités :

- Idéalement, recréer un poste de garde-animateur dédié à la surveillance du site et à la sensibilisation du public rencontré, au moins pour la période estivale ;
- Dans la mesure du possible, organiser des tournées de surveillances plus régulières et/ou en semaine durant les périodes de forte fréquentation ;
- Continuer les tournées conjointes de surveillance sur le terrain avec les autres services de police.

→ Sensibiliser le public au respect de la réglementation :

- Multiplier les maraudages pour expliquer au public l'intérêt de la réglementation en réserve ;
- Créer un panneau plus ludique/éducatif et plus voyant sur la réglementation à placer aux entrées de la réserve.

→ Eviter le hors sentier :

- Laisser quelques points de vue hors sentier déjà tracés et/ou les officialiser pour éviter leur multiplication ;
- Fermer les abords des chemins où les hors sentiers sont réguliers et à répercussion négative pour des espèces fragiles, comme au Kirchenerkopf, avec des clôtures en corde ou par la plantation d'une végétation buissonnante dans les milieux forestiers.

→ **Limiter la sur-fréquentation :**

- Dans le cadre du PCAET, participer en tant que conseiller et/ou partenaire à la création de nouveaux espaces verts offrant la possibilité de rediriger une partie de la fréquentation de la réserve vers ces lieux (cf. parc des carrières).

Bibliographie :

Fisichelli, Nicholas A., Gregor W. Schuurman, William B. Monahan, and Pamela S. Ziesler. 2015. "Protected Area Tourism in a Changing Climate: Will Visitation at US National Parks Warm up or Overheat?" PLoS ONE 10(6):1–13.

Pression non climatique : Activités aquatiques sur le Vieux Rhin

Description de la pression

Une zone de baignade est existante sur le Vieux Rhin en réserve au niveau du Bouchon de Kembs. Elle est règlementairement interdite car considérée comme du hors-sentier par la réserve et dangereuse par EDF à cause des lâchers d'eau. Cette zone reste néanmoins tolérée car elle permet de concentrer la foule et d'éviter un étalement dans la réserve. Ce site est fortement fréquenté durant la période estivale et de nombreuses incivilités y sont relevées comme l'abandon de déchets et la création de places de feu. Les autres impacts possibles sont un dérangement du substrat au fond du Vieux Rhin, les déplacements volontaires de galets pour créer des bassins ainsi que le piétinement de la végétation des berges. La fréquentation est également très forte sur la rive allemande qui est tolérée à la baignade sur toute sa longueur. Le nombre de baigneurs a augmenté ces dernières années car la qualité de l'eau du Rhin s'est fortement améliorée depuis la catastrophe chimique de 1986.
La navigation est strictement interdite sur le Vieux Rhin, sauf dans le cadre de l'arrêté préfectoral pris en application du décret. La réserve co-encadre deux sorties canoés chaque été avec le CDAPA (Centre D'Activité de Plein Air) dans le cadre de son programme d'animations. Malgré l'interdiction, des embarcations sont régulièrement observées en période estivale. Elles peuvent avoir un effet destructeur sur le milieu lorsque le fond racle le substrat, notamment sur les radiers.
L'orpaillage est aussi pratiqué comme loisir mais cause un impact beaucoup plus important sur les milieux par le dérangement et le creusement du substrat. Il n'y a pas de suivi de cette activité, néanmoins elle reste occasionnelle et très localisée.

Evolution attendue de la pression

Avec la hausse des températures, des canicules et le peu de sites autres de baignade existants dans le secteur, il est quasi certain que la fréquentation du Vieux Rhin va augmenter ces prochaines années. Il est probable que la zone du bouchon de Kembs arrive à saturation en période estivale et que la fréquentation se reporte sur d'autres secteurs de la réserve. Il en résultera un dérangement accru des milieux, de la faune et de la flore. Cela ajoutera une pression supplémentaire sur les espèces, notamment celles déjà fragilisées par le changement climatique et qui pourraient ne subsister que dans des zones refuges.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ Sensibiliser le public :

- Organiser des tournées de surveillance et/ou des maraudages dédiés à la sensibilisation du public présent sur le Vieux Rhin pour les informer des risques qu'ils encourent avec les lâchers d'eau et de l'impact sur la biodiversité qu'ils peuvent avoir (dérangement du substrat, destruction de frayères, destruction de la végétation) ;
- Organiser un « stand » de sensibilisation multi partenariat avec EDF et la Fédération de pêche au niveau du bouchon de Kembs en période de forte fréquentation ;
- Transmettre la réglementation de la réserve aux clubs de canoë ou prestataires et s'accorder avec eux sur un discours commun de sensibilisation du public ;
- Continuer à organiser des tournées de surveillances conjointes avec les autres services de police pour verbaliser les infractions plus graves comme les places de feu et l'abandon des déchets.

→ Proposer des sites de baignades alternatifs au public :

- Au niveau du bouchon de Kembs réactualiser le panneau baignade interdite en ajoutant une carte des plans d'eau et piscines du secteur ;
- Se tenir au courant et soutenir les nouveaux projets de sites de baignade naturels.

Pression non climatique : La pêche

Description de la pression

La pêche est tolérée dans la réserve le long du canal de Huningue et le long du Vieux Rhin. Cette activité est relativement respectueuse de l'environnement mais peut avoir des impacts par la création de sentiers non officiels et de places de pêche le long des berges, le piétinement de la végétation rivulaire et le dérangement de l'avifaune. La pratique de la pêche à la mouche, qui implique de marcher dans le cours d'eau, peut ajouter un dérangement du substrat. La pêche cause aussi un stress sur la faune piscicole, ce qui peut être préjudiciable sur des espèces aux effectifs faibles lorsqu'elles sont capturées par erreur comme le Saumon. De la pêche en infraction avec la réglementation de la réserve a déjà été constatée sur le Petit Rhin.
La fréquentation du Vieux Rhin reste modérée et a peu évolué dans le temps. En effet, le Vieux Rhin en réserve est relativement difficile d'accès et la pêche en elle-même est difficile comparée à d'autres sites. De plus, les espèces présentes ne sont pas forcément attractives ni pour la pêche sportive ni pour l'alimentaire.

Evolution attendue de la pression

Il est probable que cette pression reste stable dans le temps par les difficultés qui se posent pour la pratique sur le Vieux Rhin.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ Sensibiliser les pêcheurs :

- Créer des panneaux et/ou créer une page sur le site internet avec la cartographie des zones autorisées à la pêche (par exemple carte consultable via un flashcode ajouté sur les panneaux RN) ;
- S'assurer que les panneaux des réserves de pêche soient toujours bien en place et visibles ;
- Organiser des tournées de sensibilisation pour aller au contact des pêcheurs et les informer des pratiques respectueuses de l'environnement et de leurs impacts sur la biodiversité, en partenariat avec la Fédération de pêche ;
- Continuer à organiser des tournées de police conjointes avec les gardes-pêches.

→ Impliquer les pêcheurs :

- Créer un réseau de science participative en demandant aux pêcheurs de faire remonter les espèces capturées et/ou aperçues.

→ Adapter la réglementation :

- Sur le Vieux Rhin, identifier et classer les zones refuges pour la faune piscicole (suite à des travaux de renaturation, par exemple les zones d'exfiltrations phréatiques) comme réserve de pêche.

Pression non climatique : L'agriculture

Description de la pression

Ce secteur économique est très présent dans la région, les conditions sont favorables à la culture du maïs qui s'est généralisée dans toute la plaine d'Alsace sous forme de grandes monocultures. La réserve est ainsi entourée de cultures et certaines se situent même encore au sein de son périmètre. Depuis l'arrivée de la Chrysomèle du maïs, les cultures se sont un peu plus diversifiées et le maïs est maintenant en rotation avec du soja, colza et sorgho. Les champs sont arrosés durant la période estivale, notamment ceux contenant du maïs et autres cultures à forte valeur ajoutée, et plusieurs puits se situent à proximité de la réserve dont un en bordure directe d'un bras phréatique. Cette pression est allée croissante jusqu'à aujourd'hui avec l'installation des monocultures au détriment des polycultures, l'utilisation d'intrants chimiques et le lessivage des sols amenant des polluants dans les cours d'eau. Aujourd'hui, la réserve essaie de limiter les impacts des cultures proches par exemple en établissant des partenariats avec les agriculteurs pour réaliser les jachères environnement faune sauvage.

Evolution attendue de la pression

Des solutions d'adaptation sont actuellement étudiées par la Chambre d'agriculture pour limiter les retomber négatives du changement climatique sur la production agricole. Néanmoins l'irrigation sera toujours présente, notamment pour les cultures à forte valeur ajoutée et pour le maraichage. Il est donc probable que la pression reste constante, voire même qu'elle s'accentue dans un premier temps à cause des sécheresses de plus en plus fréquentes.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ Sensibiliser les agriculteurs :

- Dans le cadre du projet Vision d'avenir 2030 mené par l'Agglomération de Saint-Louis, intégrer la PCA comme partenaire et participer aux ateliers avec les agriculteurs locaux pour discuter des solutions communes futures.

→ Limiter la pression sur les ressources en eau :

- Obtenir la cartographie des puits agricoles aux alentours de la réserve ;
- Intégrer le comité de validation de la création des puits pour éviter la création de nouveaux puits agricoles en bordure de réserve.

→ Favoriser la biodiversité :

- Poursuivre et développer le programme Jachère Environnement Faune Sauvage ;
- Se tenir informer de potentiels projets agricoles compatibles avec la biodiversité, notamment la filière herbe, pour entamer la transition des grandes cultures dans et autour de la réserve ;
- Poursuivre l'acquisition foncière de terrains agricoles pour les restaurer ;
- Construire un argumentaire pour promouvoir des pratiques agricoles compatibles avec la biodiversité et améliorer la continuité écologique : bandes enherbées, bandes lignocellulosiques, haies, couverts des sols, mosaïques de cultures, etc. ;
- Dans le cadre du PCAET, travailler avec l'Agglomération à l'intégration d'un volet agriculture dans la boite à outils pour diffuser les pratiques agricoles précédentes et les services écosystémiques rendus.

→ Limiter les ruissellements et les apports en polluants :

- S'assurer que les distances d'épandage par rapport aux milieux et aux zones aquatiques de la réserve soient respectées ;

- Améliorer/conserver les zones de végétation tampon entre culture et bordure de réserve, notamment pour les prairies sèches pour éviter l'enrichissement du milieu ;
- Dans le cadre du PCAET, travailler avec l'Agglomération à l'intégration dans la boite à outils de la problématique des ruissellements et des solutions fondées sur la nature existantes.

Pression non climatique : Production d'énergie hydroélectrique

Description de la pression

Au niveau de l'extrémité sud de l'Ile du Rhin a lieu la séparation entre Grand Canal d'Alsace et Vieux Rhin. A 6 km en aval sur le canal se trouve la centrale hydroélectrique de Kembs, ouverte en 1928. La productivité de la centrale et la navigation sur le canal dépendent du débit arrivant. Initialement, tout le débit était envoyé sur le canal et le Vieux Rhin ne recevait de l'eau que lorsque le débit maximum utilisable était atteint au niveau de la centrale, ce qui signifie qu'en période d'étiage le Vieux Rhin pouvait être à sec. Depuis 2010, un débit réservé assure une alimentation en eau constante du Vieux Rhin dans le but de restaurer les écosystèmes rhénans. Les débits sont fixés par le Décret n° 2009-721 du 17 juin 2009 relatif à l'aménagement et à l'exploitation de la chute de Kembs dans le département du Haut-Rhin. Aujourd'hui l'état du Vieux Rhin s'est donc largement amélioré et des espèces patrimoniales sont de retours.

Evolution attendue de la pression

Pour le futur, nous ne disposons pas d'informations sur l'évolution de l'activité hydroélectrique. Nous supposons deux scénarios :

- les objectifs écologiques sont réajustés et maintenus pour garantir une alimentation en eau suffisante à la fonctionnalité des écosystèmes rhénans, et ce quelque soit la situation de la production d'énergie hydroélectrique et de la navigation sur le canal ;
- la priorité est donnée à l'activité hydroélectrique et à la navigation face aux étiages de plus en plus fréquents, réduisant la part d'eau accordée au Vieux Rhin et causant une dégradation de la qualité des écosystèmes.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

- S'assurer que les objectifs écologiques soient maintenus lors du renouvellement de la concession de la chute de Kembs ;
- Fixer des objectifs écologiques en accord avec les changements climatiques lors du renouvellement de la concession.

Pression non climatique : L'urbanisation

Description de la pression

Le cœur de la réserve est situé dans l'agglomération de Saint-Louis et est entouré par plusieurs villages. Le secteur étant attractif avec la proximité de l'Allemagne et de la Suisse, ces villages ont vu leur population s'accroitre ces dernières années et des lotissements se sont construits, parfois en bordure directe de la réserve. Des problèmes peuvent en découler, notamment avec le risque sanitaire dû aux moustiques, les nuisances que peuvent causer les sangliers sur les propriétés et le risque de chutes d'arbres sur les habitations. Cette croissance urbaine a aussi pour effet de réduire les possibilités d'agrandissement de l'aire protégée, de fragmenter les habitats et de perturber la continuité écologique.

Evolution attendue de la pression

L'urbanisation se poursuivra dans le futur car plusieurs projets visent à rendre l'agglomération de Saint-Louis encore plus attractive. Il y a notamment une volonté de certains acteurs économiques d'augmenter l'activité de l'aéroport de Bâle-Mulhouse situé à 2 km de la RNN et de le doter d'une grande zone commerciale et de loisirs dotée d'un golf. En parallèle, cela nécessitera probablement d'augmenter et d'améliorer les divers réseaux de transports qui desservent le secteur de l'aéroport et qui sont déjà saturés aujourd'hui.
En parallèle, l'augmentation du tissus urbain et de la population couplée à des précipitations hivernales et des pluies torrentielles plus fréquentes pourraient accroitre le phénomène de ruissellement, saturant les bassins d'orage et les stations d'épuration et augmentant la quantité de ruissellements arrivant dans la réserve.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ Poursuivre la politique de la Trame Verte et Bleue :

- S'impliquer dans l'amélioration de la Trame Verte et Bleue du territoire avec l'Agglomération de Saint-Louis, notamment dans le cadre du PCAET ;
- Poursuivre les partenariats avec les espaces naturels voisins pour travailler sur la connexion écologique de ces espaces ;
- Participer en tant que conseiller/partenaire pour des actions de renaturation ayant lieu sur le territoire de l'agglomération.

→ Promouvoir les solutions fondées sur la nature :

- Via la boite à outils de l'Agglomération à destination des communes, faire une fiche sur les avantages offerts par les espaces verts en valorisant les services écosystémiques rendus aux espaces urbains et les avantages pour la biodiversité ;
- Via la boite à outils, promouvoir une gestion naturelle des espaces verts pour favoriser la biodiversité.

→ Impliquer les citoyens :

- Organiser des ateliers/conférences pour le grand public sur la manière de gérer naturellement un jardin ;
- Organiser des ateliers/conférences pour le grand public sur la manière d'attirer certains groupes d'animaux dans leur jardin : oiseaux, papillons, etc. ;
- Poursuivre les partenariats avec des organismes suisses et allemands de protection de l'environnement pour des actions conjointes de sensibilisation en incluant la notion de changement climatique.

→ Limiter les pollutions :

- Se tenir au courant du projet de désimperméabilisassion des sols voulu par l'Agence de l'eau pour réduire les ruissellements et la saturation des bassins d'orage ;
- Sensibiliser tous les publics à la réduction des déchets flottants sur le Rhin qui viennent ensuite polluer la réserve.

→ Limiter la pression sur les ressources en eau :

- Sensibiliser les citoyens à l'économie de l'eau potable et à la réutilisation des eaux de pluie via des animations/ateliers.

Pression non climatique : Les EEE animales

Description de la pression

Des espèces exotiques envahissantes animales sont déjà présentes sur la réserve. On retrouve par exemple le Ragondin (*Myocastor coypus*), le Rat musqué (*Ondatra zibethicus*), la Tortue de Floride (*Trachemys scripta elegans*), les Gobies (*Gobiidae sp.*), le Silure glane (*Silurus glanis*), l'Ecrevisse américaine (*Orconectes limosus*), la Coccinelle asiatique (*Harmonia axyridis*) et la Punaise diabolique (*Halyomorpha halys*) qui ont des populations bien installées. Des espèces d'oiseaux échappées de captivité telles que l'Ouette d'Egypte (*Alopochen aegyptiaca*) et la Tadorne casarca (*Tadorna ferruginea*) sont vues de plus en plus régulièrement, parfois avec des juvéniles. Leurs impacts sur la biodiversité locale n'ont pas encore été étudiés au sein de la réserve.

Evolution attendue de la pression

La pression augmentera probablement dans le futur. Les conditions climatiques seront plus favorables pour une partie des espèces exotiques déjà en place, améliorant leur survie et accroissant leurs populations. De nouvelles espèces pourraient aussi s'installer, que ce soit par une augmentation de leur aire de répartition ou par des individus issus de captivité.

Pistes d'adaptation envisagées à la RNN de la Petite Camargue Alsacienne

→ Améliorer les connaissances :

- Inventorier les EEE déjà présentes sur la réserve et l'état des populations (présence ponctuelle ou présence permanente, reproduction, etc.) ;
- Etablir une liste des EEE répertoriées à proximité de la réserve ou dans les régions voisines et qui pourraient s'implanter sur le site ;
- Créer/participer à un réseau de sciences participatives pour signaler les EEE aperçues.

→ Mettre en place une lutte :

- Définir les espèces à réguler selon leurs impacts sur la biodiversité locale ;
- Continuer à former les employés aux techniques de lutte ;
- Si besoin faire intervenir un prestataire extérieur pour aider à la lutte.

Fiche annexe : Les mammifères

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels
Température	↗	+ Allongement de la période d'activité des invertébrés servant de proies aux insectivores + Réduction du stress thermique lié au froid + Meilleure taux de survie et de croissance en hiver pour les non hibernants -/+ Décalage des aires de répartition - Perturbation de l'hibernation avec une consommation accrue des réserves d'énergie sans possibilité de les compenser par nourrissage, causant une réduction du succès reproducteur de l'individus, voire la mort - Persistance et apparition de nouveaux pathogènes
Jours d'été Canicules	↗	- Stress thermique -/+ Réduction de la taille des individus sur le long terme
Etés secs Sécheresses	↗	- Réduction des invertébrés dépendants de conditions humides comme les vers de terre, au détriment des mammifères qui s'en nourrissent comme les taupes, jeunes blaireaux, etc. - Réduction de la surface d'habitat pour les mammifères aquatiques
Précipitations hivernales	↗	- Mortalité accrue des espèces vivants sous terre avec les inondations
Evènements extrêmes	↗	- Mortalité

Les insectivores :

- Musaraignes sp. : elles se nourrissent principalement d'invertébrés et pourraient profiter du réchauffement par l'allongement de la période d'activité de leurs proies. La Musaraigne aquatique (*Neomys fodiens*) pourrait éventuellement devenir vulnérable avec l'accroissement des sécheresses et la réduction des invertébrés aquatiques dont elle se nourrit.
- Taupes sp. : la vulnérabilité au climat est indirecte et repose sur l'abondance des invertébrés, à savoir une baisse de la disponibilité en vers de terre avec la hausse des sécheresses. Une hausse de la mortalité hivernale est à envisager avec des inondations plus fréquentes.
- Hérisson commun (*Erinaceus europaeus*) : les populations pourraient souffrir des hivers plus doux qui perturberont l'hibernation, en induisant une consommation plus rapide des réserves énergétiques, et des sécheresses qui limiteront la disponibilité en vers de terre.
- Chauves-souris sp. : tout comme le hérisson, les hivers doux perturberont l'hibernation avec le risque que les chauves-souris sortent d'hibernation avant que leurs proies soient disponibles. Néanmoins, si la disponibilité alimentaire est favorable, le réchauffement permettrait aux femelles de mettre bas et de sevrer leurs petits plus tôt, ce qui leur laisserait plus de temps pour constituer leur réserve de graisse pour l'hiver. La hausse des précipitations au printemps devrait avoir un effet positif sur les populations d'insectes comme les moustiques et donc sur la disponibilité alimentaire pour les chauves-souris. Leur capacité de vol leur permet également d'avoir une bonne capacité de dispersion mais associée à un risque plus important de transmission de maladies entre populations.

Les rongeurs :

- Campagnols, souris et rats sp. : les hivers doux leur permettraient d'utiliser de l'énergie pour la croissance au lieu de la maintenance et l'allongement de la période de végétation garantira une disponibilité alimentaire plus longue. Ces espèces devraient profiter du changement climatique, hormis en cas d'évènements extrêmes comme les pluies torrentielles qui induiront une mortalité ponctuelle.
- Ecureuil roux (*Sciurus vulgaris*) : il devrait profiter de l'allongement de la saison de végétation, avec éventuellement un effet négatif des sécheresses en fin d'été et en automne.
- Loirs, lérots et muscardins sp. : les hivers doux risquent de perturber leur hibernation par des réveils plus fréquents

et une dépense des réserves énergétiques avant la fin de l'hiver.
- Castor européen (*Castor fiber*) : des printemps plus chauds augmenteront la disponibilité alimentaire et seront bénéfiques pour la prise de poids des adultes et des juvéniles. En revanche, des printemps très humides pourraient avoir un impact négatif sur la prise de poids en créant une baisse de productivité de certaines plantes qui se retrouveront submergées.

Les lagomorphes : bien que les hivers doux améliorent la survie, les lagomorphes pourraient souffrir des printemps humides qui réduisent la survie des jeunes et augmentent le risque de maladies. Les hivers pluvieux augmentent aussi le risque d'inondation des terriers pour les lapins.

Les ongulés :
- Cerf élaphe (*Cervus elaphus*) et Chevreuil (*Capreolus capreolus*) : la tendance irait à une réduction de la taille et de la fécondité avec des hivers plus chaud, mais à une amélioration de la condition des individus grâce à la disponibilité alimentaire plus importante.
- Sanglier d'Europe (*Sus scrofa*) : les hivers doux amélioreront la survie des juvéniles et l'augmentation de la disponibilité alimentaire pourrait permettre des reproductions toute l'année.

Les carnivores :
- Renard roux (*Vulpes vulpes*) : des sécheresses en début d'été réduiraient la disponibilité en vers de terre et impacteraient négativement la survie des juvéniles. Leur survie dépend aussi de la dynamique des espèces de rongeurs et de lagomorphes. Néanmoins, le renard est une espèce très adaptable qui ne devrait pas souffrir du changement climatique.
- Chat forestier (*Felis silvestris*) : il ne devrait pas être directement impacté par le changement climatique, des hivers plus doux pourraient éventuellement lui être profitables.
- Martre, putois, hermine, belette sp. : il ne devrait pas y avoir d'effets directs du changement climatique, la dynamique des populations dépend majoritairement de la densité de proies et ces espèces ont une bonne capacité d'adaptation.
- Blaireau européen (*Meles meles*) : les hivers doux devraient lui être profitables. Un impact négatif du changement climatique sera les sécheresses à répétition qui diminueront la disponibilité en vers de terre. Ces sécheresses peuvent notamment avoir un fort impact sur la population si elles surviennent au printemps car les vers de terre sont la principale source de nourriture des juvéniles qui en ont besoin pour survivre à la coccidiose, parasite très répandu chez le blaireau.

Bibliographie :

Newman, Chris and David W. Macdonald. 2015. *Biodiversity Climate Change Impacts Report Card Technical Paper 2. The Implications of Climate Change for Terrestrial UK Mammals*. Vol. 44.

Fiche annexe : Les oiseaux

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels
Température	↗	-/+ Décalage des aires de répartition -/+ Décalage de la phénologie : ponte, migration -/+ Sédentarisation de certaines populations - Pour les migrateurs longue distance, risque de décalage par rapport aux ressources de nourriture + Disponibilité alimentaire plus longue sur l'année + Meilleure survie hivernale pour les espèces résidentes
Jours d'été Canicules	↗	- Stress thermique, notamment pour les juvéniles
Etés secs Sécheresses	↗	- Réduction des habitats et des ressources pour les espèces dépendantes des milieux aquatiques et humides
Evènements extrêmes	↗	- Mortalité directe, notamment pour des stades juvéniles plus fragiles

Les oiseaux subissent directement le changement climatique par un décalage des évènements saisonniers tels que la reproduction, se traduisant par une avancée des dates de ponte pour de nombreuses espèces, et la migration avec une avancée des dates d'arrivée sur le site de reproduction pour les migrateurs courte distance. Cela ne s'applique pas forcément aux migrateurs longue distance dont la date de départ dépend des conditions et de la disponibilité alimentaire sur le site d'hivernage. Le risque pour eux est un décalage par rapport à des ressources de nourriture importantes en période de reproduction que sont les insectes et la végétation, et le possible effondrement de certaines populations. Le retour sur le site d'hivernage en automne peut aussi être repoussé, certaines espèces migratrices devenant même sédentaires. Ces phénomènes iront en s'accentuant avec l'augmentation de la température.

Un décalage des aires de répartition avec la disparition des espèces appréciant les climats frais et l'arrivée de nouvelles espèces du sud est à attendre. Certaines espèces pourraient ne pas décaler leur aire de répartition assez rapidement pour suivre les conditions écologiques favorables, notamment à cause de la rupture des continuités écologiques, subissant alors des pertes importantes dans les populations. Il est aussi possible que des espèces exotiques, échappées d'élevages ou de zoos, puissent trouver les conditions favorables pour s'installer et se reproduire, comme dans le cas de l'Ouette d'Egypte (*Alopochen aegyptiaca*). Les espèces natives résidentes généralistes et les migrateurs courtes distances pourraient profiter des nouvelles conditions grâce aux hivers plus doux diminuant la mortalité et à une meilleure disponibilité alimentaire avec l'allongement de la saison de végétation. Ces espèces pourraient voir leurs effectifs augmenter dans les prochaines années.

Les disparitions d'espèces pourraient perturber les communautés dont les oiseaux font partie car causant la disparition de maillons de la chaîne alimentaire, que ce soit les oiseaux en tant que prédateurs ou les insectes et plantes en tant que proies. L'arrivée de nouvelles espèces d'oiseaux, ou de proies, peut aussi avoir un effet perturbateur.

Un effet indirect, mais qui pourrait avoir de fortes répercussions sur les populations, est la réduction des habitats favorables sur les sites de reproduction et les sites d'hivernage. Les oiseaux aquatiques seraient particulièrement touchés par les sécheresses de plus en plus fréquentes qui tarissent les habitats servant à la reproduction et réduisent la disponibilité alimentaire. Les espèces insectivores pourraient également être plus sensibles aux sécheresses que les autres, notamment si elles dépendent d'invertébrés appréciant les conditions humides. Les hausses des évènements extrêmes tels que les crues et précipitations intenses peuvent aussi entrainer une destruction des nichées si elles ont lieu durant la période de reproduction, notamment si les nids sont installés au sol.

Bibliographie :

Pearce-Higgins, James. 2015. *Biodiversity Climate Change Impacts Report Card Technical Papers 7 . Evidence of Climate Change Impacts on Populations Using Long-Term Datasets*.

Wormworth, Janice (Climate Risk Pty Limited Australia) and Karl (Climate Risk Pty Limited Australia) Mallon. 2006. *Bird Species and Climate Change*.

Fiche annexe : Les poissons

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels
Température	↗	-/+ Modification des aires de répartition - Régression des espèces d'eau fraiche + Période de croissance plus longue -/+ Réduction de la taille des individus avec une croissance accélérée - Augmentation de la toxicité de certains produits chimiques
Jours d'été Canicules	↗	- Dégradation de la qualité des habitats : baisse du taux d'oxygène, eutrophisation - Risque de création de zones anoxiques ou de bloom algal avec mortalité de la faune aquatique
Etés secs Sécheresses	↗	- Réduction de la surface d'habitat - Compétition inter et intraspécifique - Prédation facilitée pour les prédateurs terrestres
Précipitations hivernales	↗	+ Augmentation des débits et des surfaces d'habitats
Crues	↗	+ Dispersion des individus et brassage génétique - Mortalité pour les stades les plus fragiles

Les poissons sont directement dépendants de la température de l'eau pour toutes leurs fonctions vitales : reproduction, métabolisme, ingestion, digestion et nage. Certains poissons seront directement affectés par la hausse des températures, par exemple une réduction de la survie des œufs pour le Saumon Atlantique (*Salmo Salar*), le Gardon (*Rutilus ritulis*) et le Chabot commun (*Cottus gobio*). Il est également constaté une réduction de la taille des individus à l'échelle des peuplements, due à une accélération de la maturation. La phénologie est aussi impactée : les pontes sont de plus en plus précoces et il y a un décalage des vagues de migrations, ce qui pourrait restructurer le réseau trophique notamment par la perte de synchronicité entre espèces.

Une modification majeure sera l'évolution de la composition spécifique en fonction des préférences écologiques des espèces. Les espèces d'eau froide seront les plus impactées, notamment par la forte réduction de leur aire de répartition, par exemple pour la Truite commune (*Salmo trutta*), le Chabot et la Lamproie de Planer (*Lampetra planeri*). Celles-ci verront leur aire de répartition se décaler vers l'amont des cours d'eau. A l'inverse, les espèces des zones à brème et à barbeau devraient répondre positivement au changement climatique et étendre leur aire de répartition, comme le Chevesne (*Squalius cephalus*) et le Barbeau commun (*Barbus barbus)*. La diversité spécifique des zones intermédiaires des cours d'eau devrait ainsi augmenter. Les espèces herbivores seront favorisées par rapport aux espèces piscivores qui ont besoin de plus d'oxygène pour leur métabolisme, mais il y aura aussi une hausse de la compétition menant à une réduction de la taille des individus (Moss 2015).

Outre les modifications graduelles des températures, la hausse des évènements extrêmes tels que les canicules, les sécheresses et les crues pourraient impacter plus fortement les populations en créant des pics de mortalité importants.

D'autres facteurs pourraient agir conjointement au changement climatique. Ainsi, la tolérance aux températures limites supérieures de plusieurs espèces de poissons d'eau douce est réduite par la présence de produits chimiques comme les insecticides et le DDT. La hausse des températures peut aussi augmenter la toxicité de certains produits chimiques et potentiellement accroitre le phénomène de bioaccumulation.

Outre les divers impacts physiologiques, la qualité des habitats pourrait aller à la baisse. Une augmentation en taille et en nombre des « zones mortes » (milieux aquatiques déficitaires en oxygènes dissous) est à attendre. En cause, la hausse des évènements pluvieux extrêmes créant des ruissellements enrichis en polluants et nutriments couplé à des

étiages plus fréquents. Les poissons soumis à des conditions hypoxiques répétées voient leurs fonctions reproductrices altérées, les effets sont observables au niveau des populations (Baptist, Poulet, and Séon-Massin 2014).

Bibliographie :

Baptist, Florence, Nicolas Poulet, and Nirmala Séon-Massin. 2014. "Les Poissons d'eau Douce à l'heure Du Changement Climatique : Était Des Lieux et Pistes Pour l'adaptation." Collection Comprendre Pour Agir.

Moss, Brian. 2015. "Biodiversity Climate Change Impacts Report Card Technical Paper 17. Freshwaters , Climate Change and UK Conservation." 1–63.

Fiche annexe : Les amphibiens

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels
Température	↗	-/+ Avancée de la phénologie + Réduction de la mortalité liée au froid - Perturbation de l'hibernation - Risque accrue de mortalité liée aux gels tardifs avec l'avancée de la phénologie + Développement larvaire accéléré + Générations supplémentaires dans l'année
Jours d'été Canicules	↗	- Dégradation de la qualité des milieux aquatiques
Etés secs Sécheresses	↗	- Réduction de la surface d'habitat - Réduction des sites d'estivage - Mortalité accrue pour les larves - Concentration des adultes sur les points d'eau restants avec de la compétition inter et intraspécifique
Précipitations hivernales	↗	+ Création de nouveaux habitats temporaires en début de saison de reproduction
Pluies torrentielles	↗	- Apports en polluants et en nutriments par les ruissellements, défavorables aux larves

Les amphibiens sont directement dépendants de la température et de l'humidité pour leur cycle de vie. Ayant une faible capacité de dispersion, ils sont fortement impactés par le changement climatique.

Une avancée de la phénologie est déjà observée suite à la hausse des températures et se poursuivra probablement, notamment avec une avancée des dates de reproduction pour certaines espèces. La mortalité hivernale due au froid sera réduite, mais des conditions plus douces en hiver ont aussi pour effet de perturber l'hibernation causant une consommation plus importante des réserves énergétique sans possibilité de se réalimenter, réduisant alors la survie et/ou la reproduction au niveau des populations. Le risque de gel tardif sera aussi plus élevé, impactant notamment les espèces qui se reproduisent tôt en causant la mort des œufs, par exemple les grenouilles brunes et le Crapaud commun (*Bufo bufo*).

Le développement larvaire pourrait être accéléré mais la métamorphose se produirait à une plus petite taille des individus ce qui réduirait la survie et la taille des adultes, mais cela pourrait éviter une mortalité importante des larves avec des sécheresses de plus en plus fréquentes et longues. Les amphibiens sont particulièrement sensibles à l'assèchement de leurs habitats, aucune espèce européenne n'a d'adaptations pour résister à un environnement xérique. Ils évitent la déshydratation en restant dans l'eau ou à l'abri à proximité des points d'eau permanents. Les périodes de canicules et de sécheresses pourraient pousser les adultes dans des périodes d'inactivité, voire à estiver (Henle et al. 2008). La hausse de ces évènements extrêmes induira une mortalité importante des larves, notamment dans le cas des reproductions tardives ou des secondes reproductions, et une concentration des adultes sur les points d'eau permanents. Ces rassemblements d'individus entraineront une compétition intraspécifique et un risque de diffusion des maladies et pathogènes plus important.

Bibliographie :

Henle, Klaus, Daniela Dick, Alexander Harpke, Ingolf Kühn, Oliver Schweiger, and Josef Settele. 2008. Climate Change Impacts on European Amphibians and Reptiles.

Fiche annexe : Les reptiles

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels
Température	↗	-/+ Décalage de la phénologie + Période d'activité plus longue + Générations supplémentaires dans l'année + Amélioration de la croissance des individus + Amélioration du succès reproducteur pour certaines espèces, notamment les lézards - Perturbation de l'hibernation - Risque accru de mortalité avec les gels tardifs - Décalage de la sex-ratio pour les espèces dont la détermination du sexe est thermo-dépendante
Jours d'été Canicules	↗	-/+ Décalage de l'activité des reptiles durant la nuit
Etés secs Sécheresses	↗	- Réduction de la surface d'habitats pour les espèces des milieux aquatiques/humides - Réduction de la disponibilité alimentaire - Augmentation de la mortalité chez les embryons, notamment pour les 2ème pontes

Tout comme les amphibiens, les reptiles dépendent de la température pour leur cycle de vie et sont directement impactés par le changement climatique. Néanmoins, les reptiles sont adaptés à des conditions plus sèches grâce à des adaptations comme des œufs à coquille, une peau écailleuse et l'excrétion d'urée contre l'évaporation.

Les reptiles seront aussi sensibles à la hausse des températures hivernales perturbant leur hibernation et aux épisodes de froid tardif qui peuvent causer la mortalité des individus déjà actifs. Les printemps plus chauds avanceront les dates de ponte, des écarts sont déjà constatés allant jusqu'à 1 mois entre un printemps chaud et un printemps froid (Henle et al. 2008).

Des températures plus élevées devraient être favorables à la croissance des reptiles, aussi bien au stade adulte que pour les embryons. Il pourrait en résulter une amélioration du succès reproducteur, celui-ci étant positivement corrélé à la taille du corps chez les femelles (Le Galliard et al. 2012). Néanmoins, la hausse des températures pourrait impacter la sexe-ratio des espèces dont la détermination du sexe est température-dépendante, créant un déséquilibre dans les populations. Des températures caniculaires pourraient réduire l'activité des reptiles durant la journée, mais la plupart des espèces sont capables de décaler leurs heures d'activité durant la nuit (Henle et al. 2008).

Avec l'assèchement des milieux en période estivale, la disponibilité alimentaire pourrait être réduite, augmentant alors la compétition inter et intraspécifique. En dehors de la disponibilité alimentaire, les reptiles adultes ne devraient pas souffrir des sécheresses estivales. En revanche, la mortalité pourrait augmenter chez les embryons, notamment pour les 2èmes pontes ayant lieu durant la période estivale, et chez les juvéniles. Les espèces utilisant les milieux aquatiques pourraient être plus particulièrement menacées par les sécheresses. Celles-ci accentueront la réduction et la fragmentation des habitats, limitant encore plus la capacité de dispersion déjà faible des reptiles, et augmenteront la compétition intraspécifique des individus concentrés sur les points d'eau permanents.

Bibliographie :

Le Galliard, J. F., Manuel Massot, J. P. Baron, and J. Clobert. 2012. "Ecological Effects of Climate Change on European Reptiles." Wildlife Conservation in a Changing Climate (January):179–203.

Henle, Klaus, Daniela Dick, Alexander Harpke, Ingolf Kühn, Oliver Schweiger, and Josef Settele. 2008. Climate Change Impacts on European Amphibians and Reptiles.

Fiche annexe : Les invertébrés

Facteurs climatiques et tendance future		Impacts potentiels
Température	↗	-/+ Décalage des aires de répartition -/+ Décalage de la phénologie + Durée de diapause plus réduite + Générations supplémentaires dans l'année
Jours d'été Canicules	↗	- Stress thermique - Réduction de l'activité pour les espèces des climats frais et tempérés
Etés secs Sécheresses	↗	- Réduction de la surface d'habitat pour les invertébrés aquatiques - Mortalité des stades non mobiles - Prédation accentuée des invertébrés aquatiques par les prédateurs terrestres
Précipitations hivernales	↗	- Risque de noyade des invertébrés dans le sol
Pluies torrentielles	↗	- Risque de noyade des invertébrés dans le sol - Mortalité des stades fragiles

Le principal effet observable sera une modification de la composition spécifique des communautés d'insectes, avec l'arrivée de nouvelles espèces et la disparition des espèces qui étaient en limite sud d'aire de répartition. Cette évolution peut se faire relativement vite pour les espèces volantes ayant une bonne capacité de dispersion, mais beaucoup plus lentement pour les espèces moins mobiles et/ou dont les habitats sont fragmentés. Une augmentation de la compétition interspécifique est à attendre entre les espèces occupant déjà les niches et les nouvelles espèces arrivantes. Celles-ci pourraient être avantagées par l'absence des températures froides restrictives.

Un décalage de la phénologie est attendu, notamment une avancée des évènements ayant lieu au printemps et en été. En revanche, l'entrée en diapause pour la mauvaise saison ne devrait pas être amenée à changer étant donné qu'elle dépend de la photopériode. La durée de la diapause sera réduite et l'émergence avancée pour de nombreuses espèces, ce qui pourrait être favorable lorsque des générations supplémentaires sont possibles dans l'année. Néanmoins, ce décalage de la phénologie peut être négatif pour les insectes dépendants d'une plante hôte s'il y a une désynchronisation par rapport à la phénologie de la végétation, il y a par exemple le risque que des ressources deviennent insuffisantes pour terminer la croissance d'une génération tardive.

La modification des habitats entrainera aussi une modification des communautés d'invertébrés, la plupart des espèces requérant des conditions précises de microclimats et de structure de la végétation. Les habitats aquatiques peuvent aussi subir une dégradation de leur qualité par les canicules et les sécheresses, menant à une mortalité importante des invertébrés aquatiques. Ceux-ci pourraient également souffrir de la hausse de la fréquence des crues qui causerait un retournement plus régulier du substrat et une hausse de la mortalité.

Les évènements extrêmes pourront causer des mortalités importantes ayant des répercussions sur les populations, notamment si cela entraine la mort d'une génération. La hausse des précipitations hivernales et des pluies torrentielles peut entrainer la noyade des invertébrés enfouis dans le sol. La hausse des sécheresses peut mener à la modification des communautés du sol, notamment pour les invertébrés préférant des sols humides. Les sécheresses peuvent également réduire la disponibilité alimentaire pour les espèces herbivores (Mossman, Franco, and Dolman 2015).

Concernant plus particulièrement les Lépidoptères, les espèces reliques glaciaires telles que le Moiré franconien (*Erebia medusa*) et le Moiré de la canche (*Erebia epiphron*) ont déjà disparu de la plaine. D'autres espèces comme la Mélitée du mélampyre (*Melitaea athalia*), le Mélitée des scabieuses (*Melitaea parthenoides*) et la Mélitée noirâtre (*Melitaea diamina*) sont aussi en forte régression ces dernières années mais il y a probablement l'intervention de facteurs autres que climatiques. Dans la majorité des cas, si la qualité de l'habitat et/ou la présence des plantes hôtes sont maintenues, ainsi que les connexions entre les différentes populations, les lépidoptères devraient se montrer

relativement résilients face au changement climatique. L'allongement de la saison de végétation et l'avancée de la phénologie permettent déjà à certaines espèces comme le Petit Mars changeant (*Apatura ilia*) d'avoir une génération supplémentaire dans l'année. Il existe aussi des mécanismes de diapause comme un retardement de l'éclosion d'une partie des chrysalides à l'année suivante pour les 2èmes générations, permettant alors d'assurer la survie d'une partie de la population en cas d'aléas climatiques (source : Jean-Jacques Feldtrauer, entomologiste bénévole).

Bibliographie :

Mossman, Hannah L., Aldina M. A. Franco, and Paul M. Dolman. 2015. Biodiversity Climate Change Impacts Report Card Technical Paper 3. Implications of Climate Change for UK Invertebrates (Excluding Butterflies and Moths).